

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

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

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

*Подписано в печать 15.06.2020  
Дата выхода номера 15.07.2020  
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 15.06.2020  
Release date 15.07.2020  
Format 60×90 8.1**

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

*Технический редактор Байгузова Л.М.  
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.  
Распространение по свободной цене  
Заказ НО 2020/3  
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

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

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



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

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

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

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

---

**НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES**

**[www.science-education.ru](http://www.science-education.ru)**

**2020 г.**

---



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

The issue contains scientific reviews,  
problem and practical scientific articles

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

### СТАТЬИ

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	5
<i>Ахтулов И.И., Глухов Д.О.</i> .....	
ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ	10
<i>Беззубцева М.М., Волков В.С.</i> .....	
СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ЯЗЫКЕ PYTHON	14
<i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.</i> .....	
АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ ГРАНИЦ ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ	19
<i>Лукошков И.А., Артемова А.А., Белов Ю.С.</i> .....	
ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДОЛОГИЙ AGILE ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА	24
<i>Сысоева Л.А.</i> .....	
УЯЗВИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ СИСТЕМ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ	30
<i>Караммаев М.М., Топорков С.Е., Короченцев Д.А., Смирнов И.А., Черкесова Л.В.</i> .....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ПОДБОРА ТУРИСТИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО НАБОРУ КРИТЕРИЕВ И РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ФИРМЫ	36
<i>Котелевский В.Р., Абрамова О.Ф.</i> .....	
К ВОПРОСУ О РАЗРУШЕНИИ ЛЕДЯНОЙ ОБОЛОЧКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	41
<i>Кульков В.Г., Фокин Р.А.</i> .....	
<b>ОБЗОРЫ</b>	
ГАДЖЕТЫ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ	46
<i>Иванько А.Ф., Иванько М.А., Ибрагимов А.А.</i> .....	

---

**CONTENTS**
**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**
**ARTICLES**

AUTOMATIC LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL COMPANIES <i>Akhtulov I.I., Glukhov D.O.</i> .....	5
THERMAL CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC MIXERS <i>Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.</i> .....	10
CREATION OF PROGRAM FOR CALCULATION OF THRUST PLAIN BEARINGS IN PYTHON LANGUAGE <i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A.</i> .....	14
ADAPTIVE ALGORITHM FOR PUPIL BOUNDARY DETECTION ON THE IMAGE <i>Lukoshkov I.A., Artemova A.A., Belov Yu.S.</i> .....	19
APPROACHES TO THE USE OF AGILE METHODOLOGIES IN THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY <i>Sysoeva L.A.</i> .....	24
VULNERABILITIES OF QUANTUM CRYPTOGRAPHY SYSTEMS IMPLEMENTATIONS <i>Karammaev M.M., Toporkov S.E., Korochentsev D.A., Smirnov I.A., Cherckesova L.V.</i> .....	30
PROBLEMS RESEARCH OF SELECTING A TOURIST DESTINATION ACCORDING TO A SET OF CRITERIA AND MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT FOR A TRAVEL COMPANY <i>Kotelevskiy V.R., Abramova O.F.</i> .....	36
TO THE QUESTION OF THE DESTRUCTION OF THE ICE SHELL OF OVERHEAD POWER LINES WIRES <i>Kulkov V.G., Fokin R.A.</i> .....	41
<b>REVIEWS</b>	
GADGETS IN DISTANCE EDUCATION <i>Ivanko A.F., Ivanko M.A., Ibragimov A.A.</i> .....	46

СТАТЬИ

УДК 621.316

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Ахтулов И.И., Глухов Д.О.**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,  
e-mail: info@volgatech.net*

На сегодняшний день к промышленным предприятиям предъявляются требования о повышении энергоэффективности, ввиду чего оптимизация расходов на искусственное освещение предприятия является оправданной мерой. Расход электроэнергии на цели освещения может быть заметно снижен достижением оптимальной работы осветительных установок. Добиться оптимизации искусственного освещения промышленных помещений возможно при использовании средств автоматического управления освещением (СУО). Наиболее распространенными средствами управления искусственным освещением являются: отключение всех или части светильников (релейное управление) и плавное изменение мощности светильников. Следует учитывать, что плавное изменение мощности осветительных приборов является более целесообразным с точки зрения отказоустойчивости осветительного прибора. В данной статье предложена модель адаптивного искусственного освещения промышленных помещений предприятия на базе микроконтроллерной автоматизированной платформы селективного управления освещением, представлен программный алгоритм функционирования, а также описаны результаты компьютерного моделирования системы, дана оценка полученных результатов. Основной идеей предложенного подхода является изменение яркости осветительных приборов искусственного освещения в диапазоне выставленной уставки с учетом изменения интенсивности светового потока естественного освещения. Предложенный подход призван обеспечить эффективное энергосберегающее освещение промышленных помещений предприятия путем мультирежимного управления освещением.

**Ключевые слова:** искусственное освещение, энергосберегающая технология, автоматизированная система управления

**AUTOMATIC LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL COMPANIES**

**Akhtulov I.I., Glukhov D.O.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: info@volgatech.net*

Today, industrial enterprises are required to increase energy efficiency, in view of which the optimization of the cost of artificial lighting of the enterprise is a very acquited measure. The energy consumption for lighting can be significantly reduced by achieving optimal lighting performance. It is possible to achieve optimization of artificial lighting of industrial premises of the enterprise by using automatic lighting control (ACS). The most common artificial lighting controls are: disabling all or part of the lamps (relay control) and gradually changing the power of the lamps. It should be say that a smooth change in the power of lighting devices is more justified from the point of view of the fault tolerance of the lighting device. This article proposes a model of adaptive artificial lighting for industrial premises of the enterprise on the basis of a microcontroller automated platform for selective lighting control, presents a software algorithm for functioning, as well as describes the results of computer simulation of the system, estimates the results obtained. The main idea of the proposed approach is to change the brightness of artificial lighting fixtures in the range of the set point, taking into account the change in the intensity of the light flux of natural lighting. The proposed approach is designed to provide effective energy-saving lighting for industrial premises of the enterprise through multi-mode lighting control.

**Keywords:** artificial lighting, energy-saving technology, automated control system

Согласно требованиям Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», к промышленным предприятиям предъявляются требования о повышении энергоэффективности [1].

Снижение энергозатрат при оптимизации искусственного освещения промышленных помещений предприятия позволяет снизить финансовые затраты организации. С освещённостью рабочих мест непосредственно связана безопасность выполняемых работ [2]. Освещённость рабочего места может влиять на производительность

труда персонала. Таким образом, на сегодняшний день внедрение новых технологий адаптивного искусственного освещения является целесообразным и экономически оправданным.

Одним из способов снижения энергозатрат является уменьшение числа часов использования осветительных установок в год. Системы автоматического управления освещением позволяют оптимизировать режимы работы искусственного освещения с учетом динамики изменения естественного освещения, трафика людского потока, нахождения рабочего персонала на рабочих местах. Системы автоматического управления (САУ) позволяют производить регули-

рование яркости источников света от 100 % до 0 % [3], что в свою очередь повышает их энергоэффективность.

Целью исследования, описанного в данной статье, является определение оптимальных подходов к управлению для формирования адаптивного искусственного освещения промышленных помещений предприятия.

#### Материалы и методы исследования

Для оценки оптимальных режимов работы системы автоматического управления освещением была разработана экспериментальная модель. За основу модели была взята проводная система с цифровым управлением освещением. В ее состав были включены такие составляющие: датчик освещенности, блок питания, микроконтроллерный блок на базе STM32F0, модуль расширения, модуль ввода/вывода, автоматический выключатель, реле, пускатель, светодиодные осветительные приборы. Для контроля параметрами данной системы использовались двенадцать датчиков освещенности, которые контролируют освещенность в помещении. Информация с датчиков поступает на микроконтроллер. Для расширения количества опрашиваемых входов на контроллере использовались модули расширения. Для передачи данных использовался стандарт физического уровня RS-485 с модифицированным протоколом, сформированным на базе Modbus RTU.

Основным принципом управления предлагаемой системы являлось ранжирование производственной территории на зоны, определение для каждой зоны уставки освещенности с учетом расположения рабочих мест, а также вида трудовой деятельности. При этом система должна была регулировать яркость искусственного освещения с учетом динамики изменения светового потока естественного освещения в помещении в течение всего рабочего дня. При разработке модели было принято решение сократить количество релейного отключения световых установок, предусмотрев возможность плавного снижения освещенности. Следует учитывать, что плавное изменение мощности осветительных приборов является оправданным с точки зрения отказоустойчивости осветительного прибора. На промышленных предприятиях с учетом большого чис-

ла осветительных приборов оправданным является учет рабочих часов и планирование замены осветительных устройств и их элементов, ввиду чего было предусмотрено использование режима реального времени для ведения программного журнала учета рабочих часов осветительных устройств с учетом их коммутации.

Алгоритм работы системы автоматического управления освещением начинается с чтения уставок, задаваемых пользователем при первичном пуске системы (последующие запуски не требуют записи уставок). В качестве уставок указываются: режим работы (продолжительность рабочей смены и их число в сутках), количество зон работы, количество используемых осветительных устройств по каждой зоне, требуемая освещенность по каждой контролируемой рабочей зоне, время отключения при бездействии (для зон непостоянного нахождения людей). Уставка освещенности по каждой контролируемой рабочей зоне подбиралась согласно требованиям ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [4].

После определения уставок и опроса периферии на наличие ошибок система в режиме реального времени контролирует значение измеренной освещенности в каждой зоне и сверяет ее с уставкой освещенности. Если в контролируемой зоне выявлено избыточное освещение, то происходит понижение яркости осветительного прибора вплоть до отключения. В случае недостаточной освещенности рабочего места контролируемой зоны система должна включить, а затем, если требуется, увеличить яркость осветительного прибора с 10 до 100 %.

Ввиду необходимости решения задачи оптимального регулирования освещенности при наличии возмущающих воздействий (естественного освещения) было решено использовать пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор. Для анализа работы системы представим ее в упрощенном виде. На рис. 1 представлена блок-схема автоматической системы управления освещением.

Для анализа принципов оптимального регулирования была взята математическая модель пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора [5]:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \times \left[ E_i + \tau_d \times \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_i} \times \sum_{i=0}^n E_i \times \Delta t_{изм} \right] \times 100\%,$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности;

$E_i$  – величина рассогласования;

$\tau_d$  – постоянная времени дифференцирования;

$\Delta E_i$  – разность между двумя измерениями величины рассогласования;

$\Delta t_{изм}$  – время между двумя соседними измерениями  $T_i$  и  $T_{i-1}$ ;

$\tau_{и}$  – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i$  – накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Для формирования управляющего сигнала от микроконтроллерного блока использовалось формирование ШИМ-сигнала, подаваемого по каналу связи на МОП-транзисторы, управляющие светодиодными лампами. За счет ШИМ-модуляции в систему вводилась возможность корректировки яркости освещения (рис. 2) с учетом наличия или отсутствия естественного освещения в помещении.

Для формирования ШИМ-модуляции использовался программный алгоритм, реализованный на базе микроконтроллера STM32F0.

### Результаты исследования и их обсуждение

Из анализа типовых схем [6] система управления должна отвечать следующим критериям:

- Макс ошибка  $(100 / 64) * 2 = 0,78$ ;
- время регулирования  $\leq 18,3$  с.

Тогда передаточная функция регулятора примет вид

$$W(s) = \frac{K_1}{T_1 s + 1}$$

После преобразований получим математическую зависимость (рис. 3).



Рис. 1. Блок схема АСУ освещением предприятия

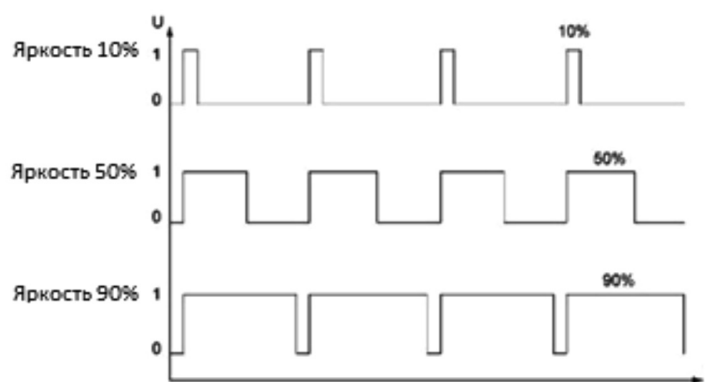


Рис. 2. Зависимость яркости от ШИМ-модуляции

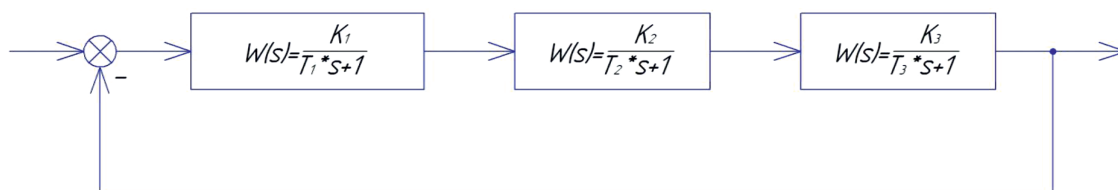


Рис. 3. Математическая модель системы автоматического управления искусственным освещением



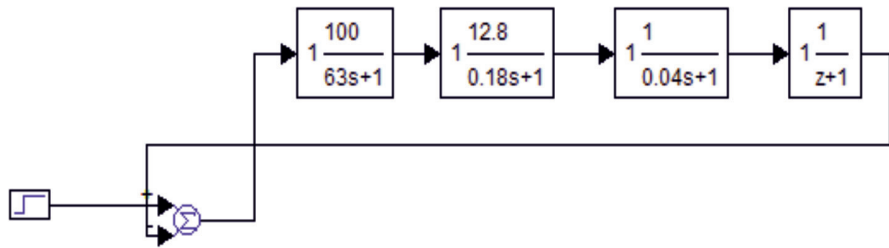


Рис. 4. Структурная схема в программе VisSim

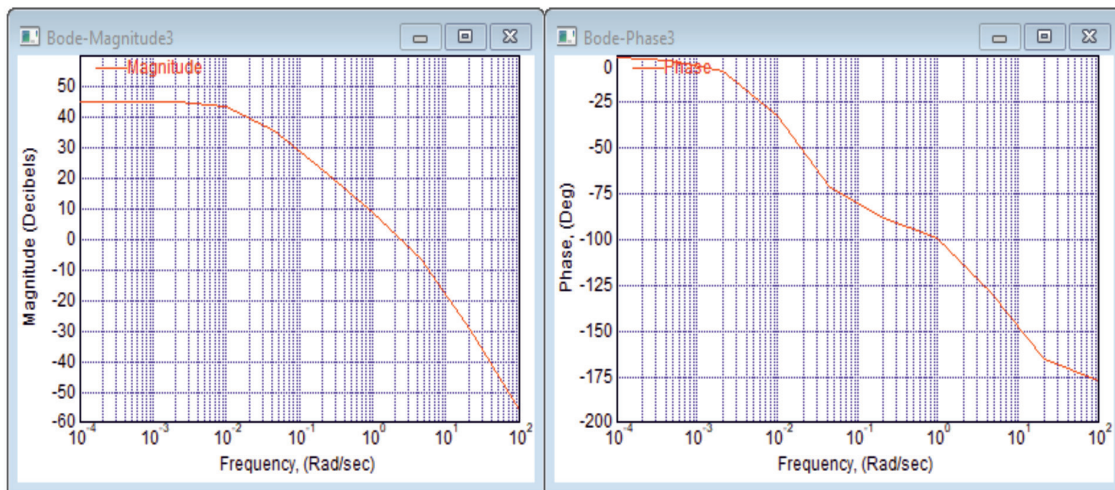


Рис. 5. ЛАЧХ ЛФЧХ с ПИД-регулятором

Для оценки показателей работы модели автоматического управления искусственным освещением было выполнено компьютерное моделирование в программе VisSim. На рис. 4 изображена структурная схема, построенная в VisSim. При компьютерном моделировании были получены логарифмические амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики (далее ЛАЧХ, ЛФЧХ) работы системы автоматического управления (рис. 5).

На рис. 1–4 изображена временная зависимость реакции системы на возмущающее воздействие (в данном случае изменения естественной освещенности помещения).

На основании полученных результатов математического и компьютерного моделирования автоматической системы управления освещением предприятия была создана система, позволяющая поддерживать заданную освещенность в помещении в зависимости от естественного освещения. Из анализа полученных данных ЛАЧХ и ЛФЧХ с ПИД можно сказать, что время реакции системы является при-

менимым для систем реального времени. В свою очередь использование при управлении ШИМ-модуляции позволяет установить требуемый уровень яркости с учетом уровня естественного освещения в помещении.

Преимуществом разработанного метода является быстрое адаптивное управление искусственным освещением промышленных помещений предприятия, что позволит повысить энергоэффективность систем искусственного освещения и снизить энергозатраты.

### Заключение

Предложенный метод является адаптивным к уровню естественного освещения и обладает достаточной реакцией по возмущению, что позволяет автоматически регулировать яркость искусственного освещения при изменении уровня естественного. Использование изменения яркости осветительного прибора позволяет снизить количество коммутаций, что позволит несколько увеличить срок службы осветитель-



ного устройства. Возможность выставления уставки яркости осветительного прибора в соответствии с нормами освещенности рабочего места [4] позволит улучшить условия труда.

#### Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения: 24.05.2020).
2. Михайлов Л.А. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Под ред. Л.А. Михайлова. М.: Академия, 2008. С. 272.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. М.: Издательство «Знак», 2006. С. 81.
4. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. 2013. 59 с.
5. ПИД-регулятор. Общие принципы. [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/49> (дата обращения: 24.05.2020).
6. Шиколенко И.А., Завьялов В.А. Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 122–125. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/50/6443/> (дата обращения: 24.05.2020).

УДК 621.43.036.9

**ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ****Беззубцева М.М., Волков В.С.***ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,  
Санкт-Петербург, e-mail: mesnegana@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований электромагнитных смесителей, принцип действия которых основан на методе электромагнитной механоактивации в магнитоожигенном слое ферромагнитных цилиндрических тел (мешалок), размещенных в камерах обработки аппаратов совместно с перерабатываемыми смесями материалов различного целевого назначения в пищевых, строительных, комбикормовых, молочных и других производствах. Представлен алгоритм расчета и методика исследования тепловых характеристик электромагнитных смесителей двух конструктивных модификаций, защищенных патентами на изобретение. В качестве модельных систем выбраны смеси для приготовления шоколадных масс в кондитерском производстве (сахар и какао) с органолептическим показателем  $n_i = 2$ . Исследования проведены в номинальных режимах работы электромагнитных смесителей, при которых достигается заданная технологическими требованиями однородность перерабатываемых смесей. Приведена схема экспериментальной установки, предназначенной для изучения тепловых режимов работы электромагнитных смесителей. Представлен кондуктомер, специальная конструкция которого обеспечивает возможность установления теплопроводности наполнителя (смеси ферроэлементов – мешалок цилиндрической формы и перерабатываемых материалов) рабочей камеры электромагнитных смесителей. Температурный режим переработки продукта в рабочих камерах исследуемых устройств обеспечивался отводом части теплоты через цилиндрическую поверхность рабочей камеры ЭМС. При описании источника тепловых потерь учтены физико-механические процессы, происходящие в магнитоожигенном слое ферротел под действием сил и моментов электромагнитного поля при относительном смещении рабочих поверхностей устройства. Адекватность математических моделей реальным процессам подтверждена многочисленными экспериментами на ЭМС различных конструктивных модификаций. Исследования проведены в рамках ведущей научной и научно-педагогической школы «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов», зарегистрированной в реестре научных школ Санкт-Петербурга.

**Ключевые слова:** электромагнитные смесители, тепловые характеристики, кондуктомер**THERMAL CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC MIXERS****Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.***Saint Petersburg State Agrarian University, St.-Peterburg, e-mail: mysnegana@mail.ru*

The article presents the results of research of electromagnetic mixers, the principle of operation of which is based on the method of electromagnetic mechanical activation in a magnetically liquefied layer of ferromagnetic cylindrical bodies (agitators) placed in the processing chambers of devices together with recyclable mixtures of materials for various purposes in food, construction, feed, dairy and other industries. An algorithm for calculating and studying the thermal characteristics of electromagnetic mixers of two design modifications protected by patents is presented. As model systems, mixtures for the preparation of chocolate masses in confectionery production (sugar and cocoa) with an organoleptic indicator were selected. The research was carried out in the nominal operating modes of electromagnetic mixers, which achieve the uniformity of the processed mixtures specified by the technological requirements. The scheme of an experimental installation designed to study the thermal operation modes of electromagnetic mixers is presented. A conductor meter is presented, whose special design makes it possible to establish the thermal conductivity of the filler (a mixture of ferroelements-stirrers of cylindrical shape and recyclable materials) of the working chamber of electromagnetic mixers. The temperature regime of product processing in the working chambers of the devices under study was provided by the removal of part of the heat through the cylindrical surface of the EMC working chamber. In the description of the source of thermal losses taken into account physico-mechanical processes in magnetic liquefied layer of ferroelements under the action of forces and moments electromagnetic field at a relative offset of the working surfaces of the device. The adequacy of mathematical models to real processes has been confirmed by numerous experiments on EMC of various design modifications. The research was carried out within the framework of the leading scientific and scientific-pedagogical school «Efficient use of energy, intensification of electro technological processes», registered in the register of scientific schools in Saint Petersburg.

**Keywords:** electromagnetic mixers, heat range, conductivity meter

Перемешивание является одним из первостепенных процессов, определяющих качество готовых изделий. Наиболее перспективными являются смесители, обеспечивающие процесс переработки по всему рабочему объему камеры устройства без застойных зон и «воронок», которые образуются при использовании наиболее рас-

пространенных в промышленности лопастных мешалок [1]. Кроме того, современные требования, предъявляемые к функционированию перерабатывающих предприятий, диктуют необходимость повышения такого важного показателя, как энергоэффективность технологических процессов [2]. В настоящее время в практику производства

внедряются аппараты с магнитоожигенным слоем рабочих элементов, размещенных в камере обработки в смеси с перерабатываемым продуктом [3, 4]. Исследования показали, что внедрение в аппаратурно-технологические схемы предприятий аппаратов нового типа – электромагнитных смесителей (ЭМС) позволяет значительно улучшить показатели процесса перемешивания (показатели интенсивности и эффективности) при одновременном снижении энергоемкости готовых продуктов [4].

Цель исследования: обоснование тепловых характеристик электромагнитных смесителей.

### Материалы и методы исследования

Научные исследования проведены с использованием как экспериментальных, так и теоретических методов. Использованы методы анализа и синтеза, методы статистической обработки данных и планирования эксперимента.

### Результаты исследования и их обсуждение

Выявлено, что при перемешивании в электромагнитных смесителях (ЭМС) [5, 6] большой мощности наблюдается повышение температуры перерабатываемых продуктов. Превышение допустимой температуры выше номинальной обуславливает как ухудшение качества продукции, так и эксплуатационные характеристики аппаратов. В этой связи вопросы, связанные с изучением и анализом тепловых процессов, происходящих в ЭМС, являются актуальными при проектировании надежно работающих аппаратов. В результате теоретических и экспериментальных исследований выявлено, что основным источником теплового воздействия на продукт являются потери, обусловленные процессами трения между перемешивающими органами в рабочей камере ЭМС [7]. При скорости вращения ротора  $n$  эти потери можно определить по формуле

$$P_{2T} = K_M M_C n,$$

где  $K_M$  – коэффициент масштабного перехода ( $K_M < 1$ ).

$M_C$  – момент вращения, передаваемый цилиндрическим мешалкам.

Необходимо также учитывать тепловой поток, поступающий в рабочую камеру от обмотки управления в (ОУ) с постоянным электрическим током  $I_y$ :

$$P_{yT} = I_y^2 \frac{\rho_H}{\rho_0} R_{y0}, \quad (1)$$

где  $\rho_H$  и  $\rho_0$  – удельные сопротивления ОУ;

$R_{y0}$  – сопротивление ОУ при температуре среды.

Суммарные тепловые потоки определены выражением

$$P_T = I_y^2 R_{y0} \frac{\rho_H}{\rho_0} + K_M M_C n. \quad (2)$$

Для конструкций ЭМС с цилиндрическим корпусом справедливо равенство

$$P_T = I_y^2 R_{y0} \frac{\rho_H}{\rho_0} + \frac{1}{2} K_M P_\tau S_p h_0 n_1, \quad (3)$$

где  $P_\tau$  – тангенциальная составляющая силовых контактов между цилиндрическими мешалками, выполненными из ферромагнитного материала;

$S_p, h_0$  – геометрические размеры рабочей камеры ЭМС (площадь среднего сечения цилиндрической камеры и ширина рабочего объема).

Заданный технологией температурный режим переработки продукта обеспечивается отводом части теплоты через поверхность рабочей камеры ЭМС. В этой связи при конструировании ЭМС тепловой расчет имеет первостепенное значение. Обеспечение заданной температуры в рабочей камере ЭМС наиболее актуально при переработке термолабильных продуктов.

На рис. 1 и 2 представлены конструктивные схемы смесителей ЭМС-1 и ЭМС-2, представляющие предмет изобретения [6].

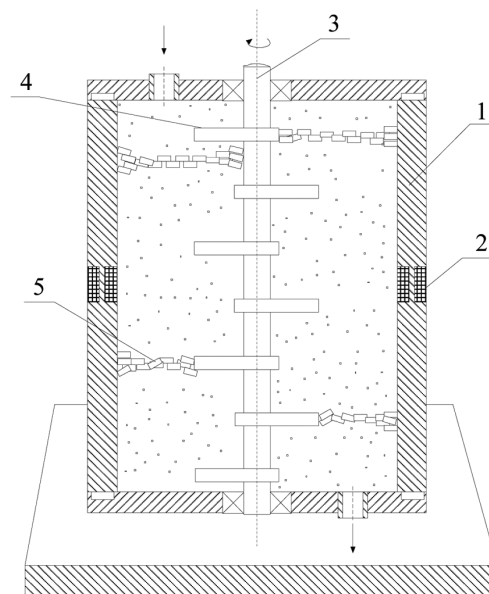


Рис. 1. Конструктивная схема смесителя ЭМС-1 (Патент России на полезную модель № 653): 1 – корпус; 2 – обмотка управления (ОУ); 3 – ротор; 4 – кольца из ферроэласта; 5 – цилиндрические ферромагнитные мешалки

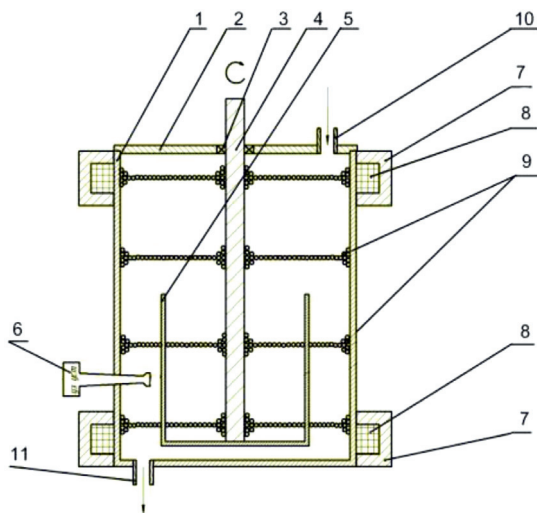


Рис. 2. Конструктивная схема смесителя ЭМС-2 (Патент России на полезную модель № 86493): 1 – цилиндрическая камера; 2 – крышка; 3 – подшипник; 4 – ротор; 5 – лопасти; 6 – источник УЗ; 7 – ферромагнитное кольцо; 8 – ОУ; 9 – ферромагнитные цилиндры; 10, 11 – патрубки для входа и выхода смеси

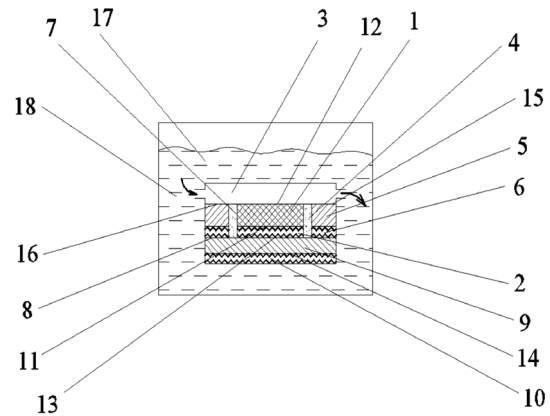


Рис. 3. Кондуктомер: 1 – диск из наполнителя; 2, 6, 10 – электронагреватели; 3 – холодильная коробка, поверхность коробки; 5 – теплоизолятор; 7 – кольцевая прослойка; 8 – поверхность теплоотдачи; 9 – теплоизоляционный материал; 11, 12 – термопары на горячей и холодной стороне наполнителя; 13, 14 – термопары

В алгоритмах тепловых расчетов технологических аппаратов, основанных на электромагнитных способах формирования силовых контактов [3], наибольшие сложности представляют вопросы, связанные с определением теплопроводности заполнителя рабочих камер. В ЭМС рабочая камера заполнена ферромагнитными цилиндрическими элементами (мешалками) и смесью перерабатываемых продуктов. Наиболее перспективным для определения теплопроводности заполнителя рабочих камер в ЭМС является специально разработанный для этих целей кондуктомер, конструктивная схема которого представлена на рис. 3.

Данная конструкция кондуктомера была успешно использована при изучении тепловых режимов работы аппаратов с магнитооживленным слоем. С помощью модели температурного поля прибора можно аналитически установить температуру элементов устройства.

Изучение тепловых режимов ЭМС проводилось с использованием экспериментальной установки, представленной на рис. 4.

Использованы стандартные приборы (вольтметры  $V$ , амперметры  $A$ , реостаты  $R$  и т.д.).

В качестве модельной системы выбраны смеси для приготовления шоколадных масс

(сахар и какао с органолептическим показателем  $n_c = 2$ ) [8, 9].

Расчеты проведены с использованием формул

$$\theta = \theta_m \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) + \theta_0 \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], \quad (4)$$

$$\theta_{PO} = \theta + \sum_{i=1}^n \Delta\theta,$$

$$\theta_{PO} = \frac{P_{YT} + P_{2T}}{S_n h_K} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) +$$

$$+ \sum_{i=1}^n \frac{b_n \left( I_y^2 R_{y0} \frac{\rho_H}{\rho_0} + \frac{1}{2} K_M P_\tau S_p h n_1 \right)}{\lambda_n S_n} + \theta_0, \quad (5)$$

где  $\theta_{PO}$  – температура в камере ЭМС;  $T$  – период процесса обработки до достижения установившегося температурного режима;

$t$  – продолжительность обработки;

$S_n$  – площадь наружной поверхности камер ЭМС;

$h_K$  – коэффициент теплоотдачи ( $h_K = 16-20$  Вт/м<sup>2</sup>);

$\lambda_n, S_n, b_n$  – коэффициент теплопроводности материала, площадь поверхности и толщина  $n$ -го участка ЭМС.

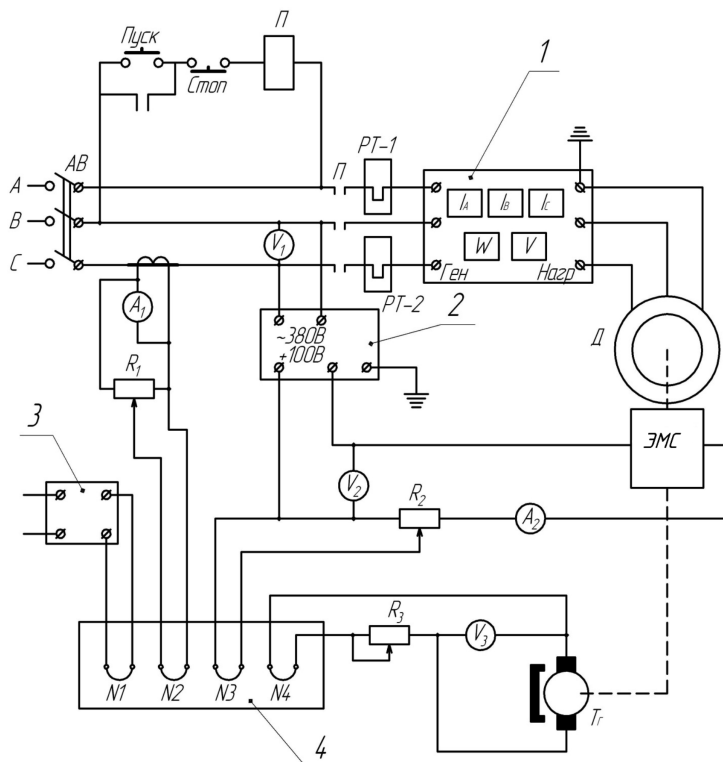


Рис. 4. Экспериментальная установка

Исследования проведены в режиме работы ЭМС-1, при котором достигается заданная технологией однородность смеси: индукция электромагнитного поля в рабочей камере  $B = 0,3$  Тл, скорость вращения ротора  $n_1 = 23,5$  с<sup>-1</sup>. Номинальные режимы работы при обработке смеси в ЭМС-2: индукция электромагнитного поля в рабочей камере  $B = 0,4$  Тл, скорость вращения ротора  $n_1 = 24,2$  с<sup>-1</sup>. В ЭМС-1 установившееся тепловое состояние достигается при температуре  $\theta_{m1} = 44$  °С ( $T_1 = 37$  мин). В ЭМС-2 – при  $\theta_{m1} = 38$  °С ( $T_2 = 28$  мин). Погрешность: 2,4% при  $t = 3$ Т, 1,9% при  $t = 4$ Т, 0,6% при  $t = 5$ Т.

Адекватность математических моделей реальным процессам подтверждена многочисленными экспериментами на ЭМС различных конструктивных модификаций.

### Заключение

Установлено, что температура рецептурной смеси шоколадной массы в установленном тепловом режиме работы смесителей ЭМС-1 и ЭМС-2 не превышает допустимых значений и отвечает технологическим требованиям. Адекватность математических моделей реальным процессам подтверждена многочисленными экспериментами на ЭМС различных конструктивных модификаций.

### Список литературы

1. Дмитричева Р.Р., Бронская В.В., Мануйко Г.В., Аминова А.А., Гимальгинов А.Г., Халимбаев Р.Р. Расчет полей скоростей и давления в аппарате с лопастной мешалкой // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 21. С. 124–126.
2. Омельченко Д.П., Уваров И.П. Энергосбережение и пути оптимизации использования электрической энергии // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/article/view?id=15936> (дата обращения: 20.05.2020).
3. Вершинин И.Н., Вершинин Н.П. Аппараты с вращающимся электромагнитным полем. Сальск – Москва: Переломные технологии XXI века, 2007. 368 с.
4. Мищенко М.В., Боков М.М., Гришаев М.Е. Активация технологических процессов обработки материалов в аппаратах с вращающимся электромагнитным полем // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–16. С. 3508–3512.
5. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Дзюба А.М. Исследование процесса перемешивания сыпучих материалов в электромагнитных мешалках // Успехи современного естествознания. 2014. № 11–3. С. 116–117.
6. Беззубцева М.М. К вопросу интенсификации процесса перемешивания продукта в аппаратах с магнитоожженным слоем ферротел // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8–3. С. 135–136.
7. Bezzubtseva M.M., Volkov V.S. Regularities of formation of shock-abrasive loads in magnetic liquefied layer of electromagnetic mechanoactivation. European Journal of Natural History. 2017. № 4. P. 79–82.
8. Зубченко А.В., Копенкина И.Н., Аверьянова Т.Е. Новые способы получения шоколадных масс // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 2012. № 4. С. 33–35.
9. Клешко Г.М., Горячева Г.Н., Антипова Ю.В., Рысева Л.И., Кондакова И.А. Совершенствование технологии шоколадного производства с целью рационального использования какао продуктов // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 2006. № 10. С. 1–28.



УДК 621.311.2

## СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

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

Статья посвящена описанию процесса разработки и тестирования компьютерной программы для проектирования упорных гидродинамических подшипников скольжения роторных машин. При создании данной программы ставится цель автоматизации расчётов для существенного уменьшения их трудоёмкости. При этом представляется возможным решить актуальную на данный момент проблему повышения качества проектирования и улучшения показателей надёжности подшипниковых узлов. Для разработки программы выбрана хорошо отработанная и зарекомендовавшая себя методика расчёта, основанная на гидродинамической теории смазки и на обобщённых данных экспериментальных исследований. Код программы написан на одном из самых удобных и современных языков программирования Python, располагающем удобными средствами для разработчика и пользователя. Для перевода многочисленных графиков и таблиц методики в программный код произведена их аппроксимация с помощью программы Approx – Simple Formula; качество аппроксимации проверено с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Описаны библиотеки и функции языка Python, использованные для реализации вычислений и вывода результатов. Для демонстрации работы программы произведён расчёт зависимости минимальной толщины несущего слоя смазки от прикладываемого осевого усилия для упорного подшипника паровой турбины Т-48/62-7,4/0,12 производства ОАО «Калужский турбинный завод». Результаты расчёта выведены в графической форме с помощью модуля matplotlib.pyplot для Python. Также определено максимально допустимое осевое усилие для данного подшипника. Дано заключение о проделанной работе и рекомендации по сферам применения её результатов.

**Ключевые слова:** упорный подшипник, гидродинамическая смазка, упорная пята, режим смазки, язык Python, библиотеки Python

## CREATION OF PROGRAM FOR CALCULATION OF THRUST PLAIN BEARINGS IN PYTHON LANGUAGE

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

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

The article describes the process of developing and testing a computer program for designing thrust hydrodynamic plain bearings of rotary machines. When creating this program, the purpose is to automate calculations to significantly reduce their labor consumption. At the same time, it is possible to solve the current problem of improvement of design quality and improvement of reliability indicators of bearing units. A well-worked and proven calculation technique based on hydrodynamic lubrication theory and on generalized data from experimental studies has been chosen to develop the program. The program code is written in one of the most convenient and modern programming languages Python, which has convenient tools for the developer and the user. To translate numerous graphs and tables of the methodology into program code, their approximation is made using the program Approx – Simple Formula; the quality of the approximation has been verified using Microsoft Excel spreadsheets. It describes the Python libraries and functions used to implement calculations and output results. In order to demonstrate the program operation, dependence of minimum thickness of lubricant bearing layer on applied axial force for thrust bearing of steam turbine manufactured T-48/62-7,4/0,12 of Kaluga Turbine Plant is calculated. The calculation results are displayed in graphical form using the matplotlib.pyplot module for Python. The maximum permissible axial force for this bearing is also defined. An opinion on the work done and recommendations on the application of its results were given.

**Keywords:** thrust bearing, hydrodynamic lubrication, thrust heel, lubrication mode, Python language, Python libraries

Подшипники скольжения нашли широкое применение в роторных машинах: в насосах, компрессорах, турбинах и многих других – благодаря своим уникальным достоинствам: возможности нести очень большие нагрузки, простоте конструкции, небольшим габаритам, долговечности (практически не зависящей от скорости вращения вала), способности гасить вибрации и некоторое время работать при перегрузках. Подшипники обеспечивают важнейшую для роторных машин задачу – фиксацию ротора в определённом положении, тем самым предотвращая задевание деталей ротора и статора; в частности, упорные

подшипники фиксируют ротор в осевом направлении [1].

При высоких нагрузках и скоростях в современных роторных машинах практически безальтернативным вариантом является применение подшипников скольжения, работающих на режимах жидкостного трения, обеспечиваемого жидкими смазочными материалами [2]. В таких подшипниках должен обеспечиваться гидродинамический режим смазки, при котором на рабочих режимах между несущими поверхностями подшипника и вала образуется масляный слой с толщиной, достаточной для предотвращения перетечек масла через микроне-



ровности поверхностей (для современных подшипников скольжения рекомендуется толщина слоя смазки больше 15 мкм). Ни в коем случае не допускается сильная вибрация подшипника, приводящая к его перегреву, снижению вязкости масла и к разрушению масляной плёнки [3].

Практика показала, что большинство аварийных остановок оборудования и его роторных агрегатов связано с выходом из строя именно подшипников скольжения. Причиной этого в большинстве случаев является неправильное проектирование подшипников, в связи с чем возникает перегрузка и перегрев, а как следствие – поломка узлов трения.

Таким образом, для обеспечения высокой надежности работы дорогого оборудования с подшипниками скольжения на всех режимах работы (пуск, рабочий режим, остановка), при их проектировании необходимо правильно учесть все действующие факторы. Эта задача является непростой, так как при работе подшипника протекает одновременно множество разнообразных физических процессов и явлений: трение, нестационарный перенос тепла маслом, теплообмен между маслом и колодками, изменение вязкости масла при изменении его температуры, фреттинг-износ [4] и др.

При исследовании и проектировании современных подшипников скольжения применяется гидродинамическая теория смазки, учитывающая вышеизложенные процессы [5].

На основе гидродинамической теории смазки, а также по результатам экспериментальных исследований и опыта эксплуатации были разработаны различные методики расчёта подшипников скольжения. В частности, для упорных подшипников скольжения, рассматриваемых в данной работе, широко применяется методика, изложенная, например, в [6].

Методика, предложенная в работе [6], основана на совместном использовании как точных формул (полученных из теории теплообмена, гидравлики и др.), так и эмпирических графиков и таблиц. В представленном виде расчёты по методике являются очень трудоёмкими и её невозможно использовать для вариантных расчётов подшипника при изменении режимов его работы (например, при изменении нагрузки или температуры масла на входе). Такой расчёт необходим не только для проверки режимов работы при эксплуатации существующих подшипников, но и для оптимизации конструкции и параметров при проектировании создаваемых роторных машин.

В представляемой работе поставлена цель создания удобной компьютерной программы, позволяющей производить автоматизированный расчёт основных конструктивных и режимных параметров упорных подшипников и выводить результаты в виде графиков.

#### Материалы и методы исследования

Конструкция гидродинамического упорного подшипника, рассматриваемого в данной работе, называемая «упорной пятой», описана, например, в работе [7] и изображена на рис. 1.

При вращении ротора 1 между плоской поверхностью упорного диска 2 и рабочими поверхностями колодок 5, разделённых межколодочными зазорами 4, образуется несущий слой смазочного материала вследствие того, что вращающийся диск увлекает масло в суживающийся зазор. Колодки закрепляются на упорной пяте 3 таким образом, чтобы при работе они могли поворачиваться и устанавливаться под углом по отношению к поверхности диска. Вытеканию масла из зазора препятствуют силы вязкости, которые преодолеваются возникающим давлением в клиновидном зазоре.

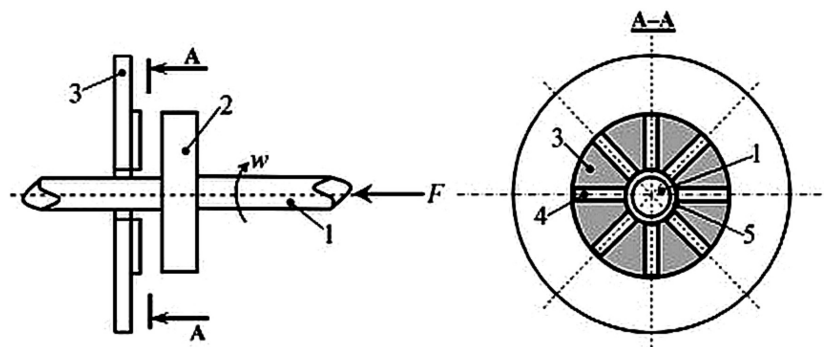


Рис. 1. Схема гидродинамического упорного подшипника:  
1 – ротор; 2 – упорный диск; 3 – упорная пята; 4 – межколодочный зазор; 5 – упорная колодка

При расчёте представленной конструкции в качестве исходных данных используются: число оборотов ротора, осевое усилие, температура и давление масла на входе, диаметр шейки вала, наружный диаметр колодок, число колодок, коэффициент теплопроводности материала колодок.

Физические свойства масла (коэффициент теплоёмкости, удельный вес, коэффициент динамической вязкости) в методике определяются по таблицам после расчёта средней температуры масла в подшипнике.

Наиболее значимыми результатами расчёта упорного подшипника являются: оптимальные размеры колодок, средняя температура масла в подшипнике (на самых тяжёлых режимах работы не должна превышать 70 °С), минимальная толщина несущего слоя смазки (должна быть более 15 мкм), толщина упорного диска (исходя из максимально допустимого его прогиба 1 мкм). Также вычисляются потери мощности на трение, необходимый расход масла через подшипник, площади входного и сливного дросселей.

Наиболее трудоёмким этапом перевода рассматриваемой методики в программный код являлась аппроксимация («оцифровка») представленных в методике графиков. Сложность заключалась в том, что в данном случае необходимо построение регрессионных функций двух переменным, так как коэффициенты  $k_1$ - $k_6$  зависят от двух парамет-

тров: отношения высоты колодки к её внутреннему радиусу  $b/r$  и центрального угла колодки  $\theta$ .

Аппроксимация данных функций, а также физических свойств масел (вязкость, удельный вес и теплоёмкость в зависимости от средней температуры смазки в подшипнике) произведена в программе Arproх – Simple Formula, основанной на применении метода наименьших квадратов [8] и подбирающей по введённым в неё точкам наилучшие регрессионные зависимости. Далее необходимо из предложенных зависимостей выбрать функцию с наименьшим среднеквадратичным отклонением точек от неё.

В качестве примера номограммы функции, для которой необходимо было найти аппроксимационную зависимость, на рис. 2 приведена функция  $k_4$ .

Вначале выводятся функции одной переменной (полиномы) для каждого фиксированного значения второй переменной, имеющие одинаковый вид и отличающиеся только постоянными коэффициентами при слагаемых полинома. Затем каждый коэффициент полученных полиномов аппроксимируется по второй переменной и вместо постоянной становится функцией.

В результате аппроксимации рис. 2 выбрана следующая функция двух переменных –  $b/r$  и  $\theta$ , дающая хорошее приближение к «оцифровываемой» функции  $k_4$ :

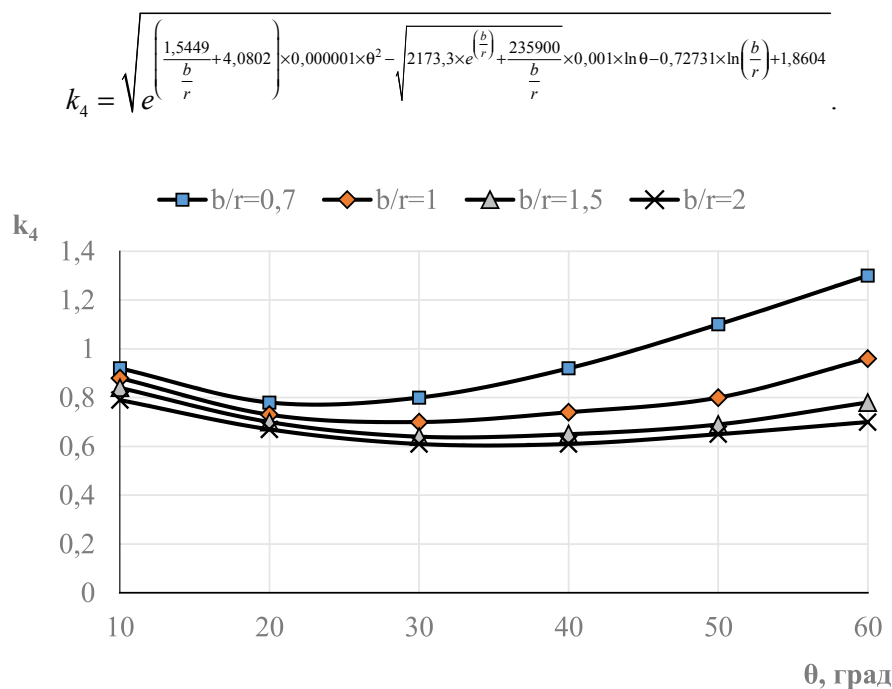


Рис. 2. Номограмма для определения коэффициента  $k_4$

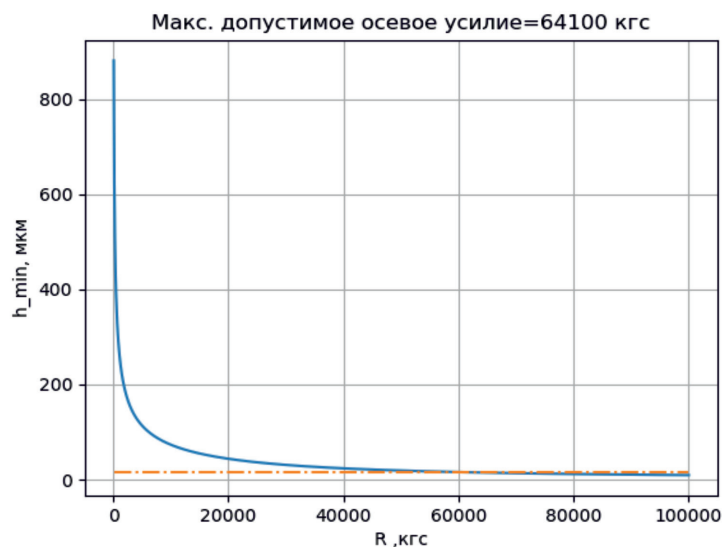


Рис. 3. Зависимость минимальной толщины несущего слоя смазки от осевого усилия

Далее в программе Microsoft Excel была произведена проверка качества аппроксимации – сравнивались графики функций  $k_1$ - $k_6$  из используемой методики расчёта подшипника с графиками, построенными по полученным регрессионным зависимостям. Сравнение подтвердило правильность «оцифрованных» функций.

Следующим этапом работы являлся пошаговый перевод методики [6] в программный код.

Для реализации возможности многовариантного расчёта подшипника был выбран высокоуровневый язык Python, который является, пожалуй, самым быстроразвивающимся средством разработки программ благодаря своей универсальности и практически безграничным возможностям. Он позволяет решать очень широкий круг задач – от математических и проектировочных расчётов до создания сайтов с удобным и современным интерфейсом. Его преимуществами перед другими языками являются удобочитаемость и высокая скорость разработки кода, лёгкость в обслуживании, повторном использовании и модификации программ [9]. Это возможно благодаря использованию специальных подключаемых библиотек, способных реализовывать различные функции. Например, для решения математических задач создана использованная в данной работе библиотека numpy.

Полученные вышеописанным способом регрессионные зависимости для коэффициентов  $k_1$ - $k_6$ , а также для физических свойств масла (коэффициента теплоёмкости, удельного веса, коэффициента динамической вязкости), зависящих от средней температуры

смазки, были использованы при разработке программного кода.

#### Результаты исследования и их обсуждение

С помощью созданной программы можно производить как поверочный расчёт уже применяемой конструкции упорного подшипника, так и проектировочный расчёт вновь создаваемой конструкции.

Результаты расчёта могут быть представлены как в числовом варианте, так и в виде графиков, иллюстрирующих зависимость параметров подшипника от исходных данных.

Для испытания программы осуществлён расчёт нескольких вариантов подшипников и произведено сравнение данных, полученных вручную и с помощью программы. Проверка подтвердила идентичность полученных результатов.

Далее был произведён проектировочный расчёт подшипника паровой турбины, прототипом которой является турбина Т-48/62-7,4/0,12 производства ОАО «Калужский турбинный завод». Исходные данные для расчёта упорного подшипника взяты по результатам теплового расчёта турбины. Максимальное осевое усилие на роторе 13025 кгс возникает в ней при работе на конденсационном режиме, с закрытыми отборами пара.

В качестве примера с использованием массивов модуля numpy [10] произведён расчёт зависимости устанавливаемой минимальной толщины несущего слоя смазки от прикладываемой к подшипнику нагрузки (осевого усилия). На рис. 3 приведён график данной зависимости, построенный

с помощью модуля `matplotlib.pyplot` для Python, основанного на модуле `numpy` [11].

По графику можно сделать вывод, что с увеличением осевой нагрузки минимальная толщина слоя смазки уменьшается. При максимальной проектной нагрузке 13025 кгс минимальная толщина несущего слоя смазки, равная 47 мкм, намного больше рекомендуемой, равной 15 мкм, следовательно, при данном режиме работы соприкосновения поверхностей сегментов и упорного диска не происходит.

Также запрограммировано выведение над графиком значения максимально допускаемого для подшипника осевого усилия, которое может возникнуть при эксплуатации турбины, например, в результате повреждения уплотнений. При превышении данного усилия гидродинамический режим смазки подшипника нарушается и, как правило, возникает авария. В приведённом примере при минимально допускаемом зазоре в подшипнике 15 мкм (на рис. 3 показан горизонтальной штрих-пунктирной линией) осевое усилие не должно превышать 64100 кгс.

### Заключение

Таким образом, в рамках описанной работы по существующей методике расчёта упорных подшипников гидродинамической смазки разработана программа на языке Python, позволяющая решить следующие задачи:

- подбор оптимальных размеров упорных колодок и толщины упорного диска;
- расчёт средней температуры масла в подшипнике, которая не должна превышать допускаемую;
- расчёт минимальной толщины несущего слоя смазки, которая должна превышать 15 мкм;
- расчёт коэффициента трения и потери мощности на трение;
- расчёт необходимого расхода масла через подшипник и площадей входного и сливного дросселя;
- расчёт массивов требуемых исследователю результатов в заданном диапазоне изменения исходных данных и вывод всех необходимых зависимостей в числовом и наглядном графическом виде.

Разработанная программа может помочь проектировщику быстро осуществить разработку как новой оптимальной конструкции упорного подшипника, так

и проверку режимов работы существующей конструкции при разных условиях эксплуатации. В конечном счёте автоматизация процесса проектирования приведёт к повышению надёжности подшипниковых узлов роторных машин. Примером проблемы, при решении которой может помочь данная программа, может являться уменьшение потерь мощности на трение при варьировании геометрических параметров подшипника, материала колодок и сорта масла [12] с обеспечением необходимой несущей способности.

### Список литературы

1. Нагайцева Н.А. Математическое моделирование нестационарных процессов в гидродинамических подшипниках скольжения: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Красноярск, 2006. 145 с.
2. Ахвердиев К.С., Лагунова Е.О., Мукутадзе М.А. Гидродинамический расчёт упорного подшипника скольжения // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2015. № 5. С. 8–11.
3. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. Пермь: Виброцентр, 2012. 252 с.
4. Пошарников Ф.В. Автоматизация контроля трибологических процессов при исследовании подшипников скольжения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 74. С. 315–325.
5. Иванов В.А., Еркаев Н.В. Анализ упругих деформаций в подшипнике скольжения // Фундаментальные исследования. 2015. № 6–2. С. 241–245.
6. Жирицкий Г.С., Струнkin В.А. Конструкция и расчёт на прочность деталей паровых и газовых турбин. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 520 с.
7. Рождественский Ю.В., Задорожная Е.А., Чернейко С.В. Модель расчёта упорного подшипника скольжения с лазерным текстурированием несущей поверхности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2015. Т. 8. № 1. С. 5–23.
8. Голованчиков А.Б., Минь К.Д., Шибитова Н.В. Аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов и методом наименьших относительных квадратов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2019. № 1 (26). С. 42–44.
9. Кирдяев М.М. Обзор языка программирования Python для решения задач математического моделирования // Надёжность и качество: сборник трудов международного симпозиума. 2016. Т. 1. С. 305–307.
10. Хайбрахманов С.А. Основы научных расчётов на языке программирования Python: учебное пособие. Челябинск: Изд-во Челябин. гос. ун-та, 2019. 96 с.
11. Сысоева М.В., Сысоев И.В. Программирование для «нормальных» с нуля на языке Python. Учебник. В 2 ч. Ч. 1. М.: ООО «МАКС Пресс». 2018. 176 с.
12. Бабин А.Ю., Савин Л.А. Сравнительный анализ величин потерь мощности на трение и прокачку в упорных подшипниках жидкостного трения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 12. С. 324–328.



УДК 004.93

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ ГРАНИЦ ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Лукошков И.А., Артемова А.А., Белов Ю.С.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, филиал, Калуга,  
e-mail: lukoshkov.ivan@gmail.com, fn1-kf@mail.ru*

В настоящее время отслеживание взгляда имеет широкую область применений: от офтальмологии и вспомогательных технологий для лиц с ограниченными возможностями до приложений виртуальной реальности. Нахождение контура и центра зрачка – это самый первый шаг во многих из этих задач, поэтому его необходимо выполнять с высокой точностью. Несмотря на то что на сегодняшний день предложено множество методов для поиска границ зрачка, они имеют недостатки в точности, устойчивости к помехам или времени работы. В данной статье описывается алгоритм адаптивного и точного обнаружения границ зрачка, основанный на извлечении эллиптических дуг из краевых сегментов изображения глаза и их соединении для нахождения границы зрачка и вычисления положения его центра. Адаптивность метода заключается в вычислительно эффективном анализе формы обнаруженных краевых сегментов, поиске среди них почти круговых сегментов, потенциально являющихся границами зрачка, и исключении прочих сегментов из дальнейших проверок. Помимо точного определения границы и центра зрачка, алгоритм также может определить ситуацию отсутствия зрачка на изображении, т.е. в случае моргания, что может быть полезно при организации человеко-машинных интерфейсов взаимодействия.

**Ключевые слова:** нахождение зрачка, отслеживание взгляда, извлечение эллиптических дуг, подгонка эллипса, распознавание формы, компьютерное зрение

## ADAPTIVE ALGORITHM FOR PUPIL BOUNDARY DETECTION ON THE IMAGE

Lukoshkov I.A., Artemova A.A., Belov Yu.S.

*Bauman Moscow State Technical University, branch, Kaluga,  
e-mail: lukoshkov.ivan@gmail.com, fn1-kf@mail.ru*

Currently, eye tracking has a wide range of applications: from ophthalmology and assistive technologies for people with disabilities to virtual reality applications. Finding the contour and center of the pupil is the very first step in many of these tasks, so it must be performed with high accuracy. Despite the fact that to date, many methods for finding the boundaries of the pupil have been proposed, they have drawbacks in accuracy, resistance to interference, or operating time. This article describes an algorithm for adaptive and accurate detection of pupil boundaries, based on the extraction of elliptical arcs from the edge segments of the eye image and their connection to find the pupil border and calculate the position of its center. The adaptability of the method consists in a computationally effective analysis of the shape of the detected edge segments, the search for almost circular segments among them, which are potentially pupil boundaries, and the exclusion of other segments from further checks. In addition to accurately determining the border and the center of the pupil, the algorithm can also determine the situation of the absence of the pupil in the image, i.e. in case of blinking, which may be useful when organizing human-machine interaction interfaces.

**Keywords:** pupil detection, eye tracking, elliptical arc detection, ellipse fitting, shape recognition, computer vision

Отслеживание взгляда стало важной областью исследований с широким набором практических применений, включая взаимодействие человека с компьютером, медицинские исследования, вспомогательные системы для водителей и людей с ограниченными возможностями, маркетинговые исследования и биометрию [1]. Обнаружение границы и центра зрачка и вычисление положения его центра являются важными шагами во всех системах слежения за глазами и должны выполняться с высокой точностью.

Цель исследования: предложить эффективный и точный алгоритм поиска границ зрачка на изображении глаза, основанный на существующих методах компьютерного зрения.

### Материалы и методы исследования

В большинстве исследований обнаружение зрачка осуществляется с помощью про-

стых методов, которые недостаточно точны и дают сбой в случаях наличия искажений и помех на изображении. В этом исследовании мы сосредоточились на разработке эффективного алгоритма на основе признаков для обнаружения границ зрачка с использованием энтропии краевых сегментов.

Алгоритм представляет собой простой рабочий процесс и состоит из этапов, показанных на рис. 1. Обработка начинается с обнаружения области интереса (ROI) путем свертывания изображения глаза с помощью функции Хаара. Затем извлекаются краевые сегменты, каждый из которых представляет собой непрерывный массив пикселей. Следующим шагом является определение того, имеется ли почти круговой сегмент, который охватывает всю границу зрачка. Такой краевой сегмент будет существовать, только если зрачок хорошо виден без окклюзии или очень мал. Что-

бы определить, имеет ли краевой сегмент круговую геометрию, используется быстрый эвристический метод, основанный на градиентном распределении краевого сегмента. При условии обнаружения почти круглого сегмента мы извлекаем эллиптические дуги только из этого сегмента. Если почти круговой сегмент не найден, что было бы в случае, если зрачок сильно закрыт веками или ресницами, то извлекаются дуги из всех краевых сегментов в области интереса.

После извлечения эллиптических дуг мы объединяем их в каждой возможной комбинации, чтобы сгенерировать набор кандидатов на эллипс, по крайней мере один из которых аппроксимирует границу зрачка. Наконец, кандидаты оцениваются на предмет их соответствия фактическому контуру зрачка, и наилучший, если он существует, выбирается среди эллипсов-кандидатов.

### Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе алгоритма приблизительно оценивается площадь зрачка на всем изображении глаза. Зрачок можно описать как темный и компактный шарик, поскольку он состоит из более темных уровней интенсивности, чем окружающая его радужная оболочка, и обычно имеет эллиптическую форму с низким эксцентриситетом. Чтобы определить местонахождение обла-

сти зрачка, используется квадратный Хаг-подобный признак [2, 3], имеющий соотношение 3/5 между внутренней и внешней областями (рис. 2).

У человеческого глаза есть несколько физиологических свойств, которые различаются у индивидов: радиус глазного яблока, кривизна роговицы, расстояние между центром зрачка и центром роговицы и т.д. [4]. Размер зрачка также непостоянен как из-за физиологических различий между людьми, так и из-за расширения зрачка, которое происходит при изменениях освещенности. Поэтому применяется ядро Хаг-подобного признака в нескольких масштабах и выбирается область, где дается максимальный отклик на единицу.

Для обнаружения всех краевых сегментов в области интереса используется детектор краевых сегментов Edge Drawing (ED) [5, 6]. Алгоритм ED работает, сначала идентифицируя набор точек на изображении, называемых якорями, а затем соединяя эти якоря таким образом, чтобы максимизировать градиентный отклик контуров пути, следовательно, обеспечивает хорошую локализацию края. ED выводит не только двоичную карту краев, аналогичную тем, которые выводятся обычными детекторами краев, но также показывает результат в виде набора краевых сегментов, каждый из которых представляет собой непрерывную и соединенную цепочку пикселей [7].

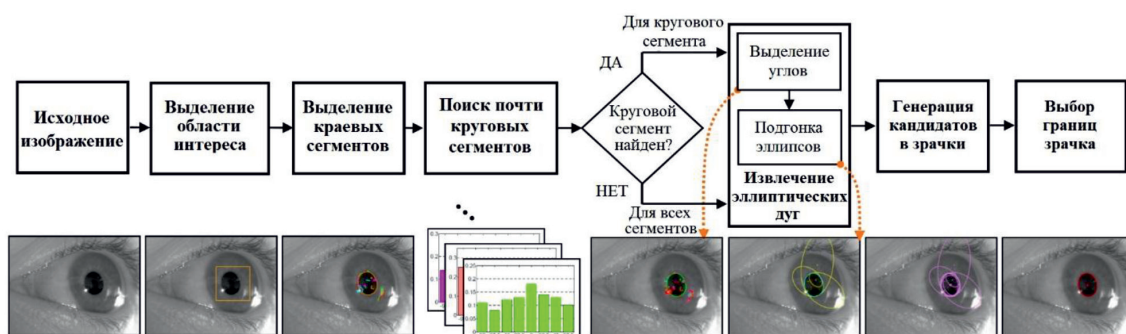


Рис. 1. Конвейер обработки предлагаемого алгоритма

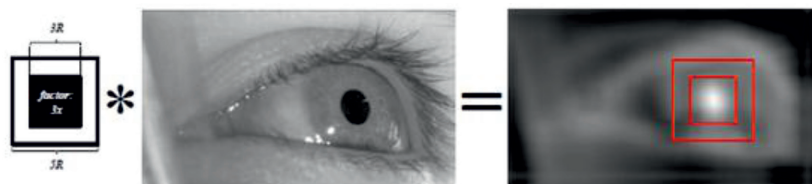


Рис. 2. Обнаружение области интереса с помощью операции свертки с квадратной функцией Хаара (слева) и результатом свертки (справа)



Как только краевые сегменты обнаружены, нужно найти тот, который представляет границу зрачка. Наиболее интуитивное решение состоит в том, чтобы подогнуть эллипс к каждому краевому сегменту, вычислить ошибку подгонки и выбрать сегмент, имеющий наименьшую ошибку подгонки. Однако для подбора эллипса и вычисления ошибки подгонки для каждого сегмента требуется слишком много вычислений.

Чтобы уменьшить эту вычислительную нагрузку, используется более быстрый метод, основанный на анализе направлений градиента. Градиенты сегментов содержат существенную информацию о геометрической структуре и используются в задачах сопоставления, поиска и распознавания формы [8, 9]. Поскольку вертикальные и горизонтальные производные изображения глаза уже вычислены на этапе обнаружения краев, можно найти направления градиента с помощью значительно меньшего количества вычислений:

$$\infty = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right).$$

Функция  $\arctan$  приводит значения углов в интервале  $[-90^\circ, 90^\circ]$ , но, прежде чем исследовать распределение градиентов, следует произвести квантование углов с шагом  $22,5^\circ$ , чтобы получить дискретные значения в восьми разных направлениях.

Получив квантованные направления градиента для всех пикселей в сегменте, можно определить характеристики формы этого сегмента. Нетрудно заметить, что круглые краевые сегменты будут иметь относительно равномерное распределение градиента, тогда как прямые сегменты имеют несбалансированное распределение, в котором доминируют несколько значений. Таким образом, можно выделить круглые краевые сегменты, используя функцию энтропии на квантованных градиентных распределениях сегментов:

$$E = -\sum_i^n p_i \cdot \log(p_i).$$

Поскольку функция энтропии максимизируется для плоских распределений, где частота каждого символа равна, энтропия распределения градиента для каждого отдельного краевого сегмента вычисляется следующим образом:

$$\arg \max \left| \sum_i^8 f_{G_i} \cdot \log(f_{G_i}) \right|,$$

где  $f_{G_i}$  – частота  $i$ -го направления градиента. Значения энтропии градиентов краевых

сегментов максимизируются для идеального круга и принимают нулевое значение для прямых линий, поскольку направление градиента вдоль прямой не меняется. Поскольку единичный круг квантуется в восьми направлениях, количество различных символов равно восьми, а максимальное значение энтропии равно  $\log_2 8 = 3$ . С помощью этой эвристики можно отказаться от порогового значения.

После вычисления градиентной энтропии краевых сегментов один сегмент выбирается в качестве сегмента, близкого к кругу, и из него извлекаются эллиптические дуги, если удовлетворяются следующие три критерия:

1) сегмент должен иметь высокую градиентную энтропию. Теоретическая верхняя граница энтропии для восьми различных направлений градиента равна  $\log_2 8 = 3$ . Соответственно, выбираются сегменты, которые имеют 2,8 или более градиентной энтропии;

2) сегмент должен иметь небольшую ошибку подгонки эллипса к образующим его пикселям, например 2 пикселя;

3) сегмент должен быть замкнутым. Чтобы избежать проблем из-за небольших окклюзий, таких как блики, используется порог в 15 пикселей для расстояния между начальной и конечной точками сегмента.

В случае если более одного краевого сегмента удовлетворяет всем трем условиям, указанным выше, в качестве почти круглого сегмента выбирается тот, который имеет минимальную ошибку подгонки эллипса. Хотя наличие почти круглого сегмента ускоряет вычисление, оно не является обязательным для обнаружения зрачка.

Следующим этапом алгоритма является извлечение эллиптических дуг из краевых сегментов, полученных на предыдущем этапе. Если на предыдущем этапе можно найти почти круговой сегмент, дуги извлекаются только из этого сегмента. Если почти круглого сегмента не обнаружено, то все сегменты, которые имеют высокую градиентную энтропию (то есть  $>2$ ), подвергаются процессу извлечения дуги. Таким образом, алгоритм адаптируется и требует меньше вычислений, когда контур зрачка полностью виден. Ввиду того что прямая геометрия редко содержит эллиптические дуги, опускаются сегменты, имеющие низкую градиентную энтропию, а также короткие сегменты, чтобы сэкономить время вычислений.

Далее происходит обнаружение углов на сегментах с помощью метода быстрого масштабирования кривизны (CSS), который использует информацию о градиенте изо-

бражения для вычисления кривизны угла поворота [10]. Кривизна – это функция, которая указывает величину отклонения геометрической сущности (в данном случае контура ребра) от плоской. Вдоль контура края функция кривизны дает более высокие отклики при резких изменениях траектории. После этого к точкам, лежащим между двумя последовательными углами вдоль каждого сегмента, подгоняется эллипс, и получаются эллиптические дуги.

На рис. 3, Б–Г представлены результаты процесса извлечения дуги для нескольких тестовых изображений, которые показаны на рис. 3, А с извлеченным ROI. В первых двух рядах зрачок полностью виден; значит, обнаружен почти круговой сегмент (обозначен красным). Следовательно, извлечение дуги применяется только к этому сегменту. Когда из-за окклюзии не удается обнаружить почти круглый сегмент, дуги выделяются из всех сегментов, имеющих высокую градиентную энтропию, чтобы избежать пропуска какой-либо важной информации (рис. 3 – 3-й, 4-й и 5-й ряды).

На следующем этапе генерируются эллипсы-кандидаты путем группировки извлеченных дуг. Чтобы сформировать кандидатов в зрачки, мы пытаемся подогнать эллипс к каждому подмножеству всех извлеченных дуг. За исключением пустого множества, для  $n$  дуг имеется  $2^n - 1$  различных комбинаций дуг. На рис. 3, Д показаны все сгенерированные из извлеченных дуг кандидаты в зрачки.

Поскольку процесс генерации кандидатов в зрачки учитывает все подмножества выбранных дуг, группы несвязанных дуг, которые не образуют действительную эллиптическую структуру, также должны быть исключены после подбора эллипса.

Чтобы принять решение о выборе одного из кандидатов в качестве контура зрачка, используется функция стоимости  $J_c$ , которая учитывает следующие свойства эллипса-кандидата:

- 1) ошибка подгонки эллипса ( $\epsilon$ );
- 2) эксцентриситет ( $e$ );
- 3) отношение пикселей дуги к периметру результирующего эллипса ( $\phi$ ).

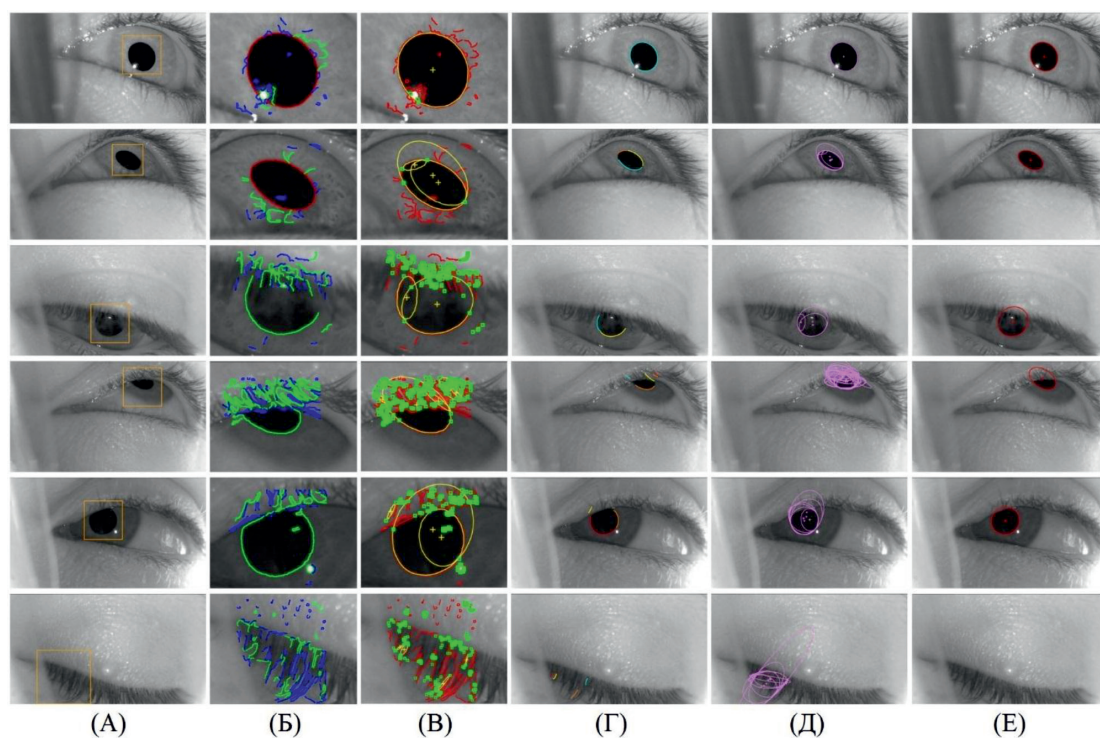


Рис. 3. Этапы обнаружения зрачка: (А) входное изображение с обнаруженной областью интереса; (Б) обнаруженные краевые сегменты в области интереса. Приблизительно круговой сегмент обозначается красным, если существует. Сегменты с высокой энтропией, которые подвергаются извлечению дуги, обозначены зеленым цветом. Короткие и имеющие низкую энтропию сегменты обозначены синим цветом; (В) обнаруженные углы (зеленые прямоугольники) и эллипсы, которые соответствуют пикселям, расположенным между двумя последовательными углами; (Г) извлеченные эллиптические дуги; (Д) множество кандидатов в границы зрачка; (Е) выбранный эллипс, представляющий контур зрачка

Каждый из зрачков-кандидатов образован одной или несколькими дугами. Если граница зрачка обнаруживается по нескольким дугам, ошибка подгонки должна быть разумной, потому что мы ожидаем, что дуги будут частями одного и того же эллиптического контура. Таким образом, нам нужно минимизировать ошибку подгонки  $\varepsilon$ .

Эксцентриситет ( $e$ ) указывает на компактность эллипса или, другими словами, удаленность эллипса от круга, и вычисляется как

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, 0 < e < 1,$$

где  $a$  и  $b$  – большая и малая полуоси соответственно. Эксцентриситет равен 0 для круга и 1 для параболы. Среди кандидатов в зрачки, каждый из которых является подмножеством эллиптических дуг, существуют также разнообразные эллипсы, эксцентриситеты которых могут приближаться к 1. Однако проекция зрачка на плоскость изображения обычно ближе к кругу, чем к наклонному эллипсу.

Параметр  $\phi$  представляет собой отношение числа пикселей, участвующих в подгонке эллипса, к периметру результирующего эллипса. В некоторых случаях одна короткая дуга может породить большой эллипс, что приводит к несогласованности. Поэтому выбираются кандидаты в зрачки, которые имеют большее значение  $\phi$ .

Следует отметить, что влияние эксцентриситета ( $e$ ) меньше, чем влияние  $\varepsilon$  и  $\phi$ , поскольку существует возможность того, что истинный зрачок не будет самым компактным эллипсом среди кандидатов. Таким образом, среди кандидатов следует выбрать тот, который минимизирует следующую стоимостную функцию:

$$J_c(p_i) = \arg \min_{(\varepsilon, e, \phi)} \left| \frac{\varepsilon_i^2 \cdot \pi_i^e}{\phi_i^2} \right|,$$

где  $p_i$  –  $i$ -й кандидат, а  $\pi$  – постоянная.

Рис. 3, Е показывает результаты обнаружения зрачка для образцов изображений. Среди зрачков-кандидатов, показанных на рис. 3, Д, в качестве истинного зрачка выбран тот, который минимизирует  $J_c$ .

## Заключение

Отслеживание глаз – это тема исследования, охватывающая широкий спектр вопросов, включая психологию, взаимодействие человека с компьютером, маркетинг, удобство использования и вспомогательные системы. Обнаружение зрачка является обязательным шагом во многих из этих приложений отслеживания глаз и должно быть выполнено быстро и точно. Точность алгоритма становится более очевидной в приложениях, таких как VR, AR, где пользователь контролирует или взаимодействует с другими объектами и интерфейсами.

Поскольку используемый метод обнаружения краевых сегментов обеспечивает оптимальную локализацию, извлекаемые эллиптические дуги точно окружают границу зрачка и аппроксимируют его центр. Кроме того, с помощью анализа распределения градиента повышается эффективность алгоритма за счет адаптивности и создается возможность для приложений реального времени, работающих с изображениями высокого разрешения.

## Список литературы

1. Федоров А.А. Применение айтрекинга при адаптации и реабилитации людей с ограниченными возможностями // Инновационная наука. 2019. № 4. С. 82–85.
2. Шоберг А.Г. Схема кратномасштабного анализа одномерного сигнала на базе Хаара, инвариантная к направлению выполнения преобразования // Информатика и системы управления. 2013. № 2. С. 146–152.
3. Шоберг А.Г. Модифицированное дискретное Вейвлет-преобразование двумерного сигнала на основе базиса Хаара // Информатика и системы управления. 2014. № 1. С. 107–114.
4. Hansen D.W., Ji Q. In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI). 2010. V. 32. no. 3. P. 478–500.
5. Akinlar C., Topal C., Circles E.D. A real-time circle detector with a false detection control. Pattern Recognition. 2013. V. 46. no. 3. P. 725–740.
6. Topal C., Akinlar C. Edge Drawing: A combined real-time edge and segment detector. Journal of Visual Communication and Image Representation. 2012. V. 23. no. 6. P. 86–872.
7. Topal C., Ozsen O., Akinlar C. Real-time edge segment detection with edge drawing algorithm, in: Int'l Symp. Image and Signal Processing and Analysis (ISPA). 2011. P. 313–318.
8. Jia L., Kitchen L. Object-based image similarity computation using inductive learning of contour-segment relations. IEEE Transactions on Image Processing. 2000. V. 9. no. 1. P. 80–87.
9. Martinez-Ortiz C., Zuni'c J. Curvature weighted gradient based shape orientation. Pattern Recognition. 2010. V. 43. no. 9. P. 3035–3041.
10. Topal C., Ozkan K., Benligiray B., Akinlar C. A robust CSS corner detector based on the turning angle curvature of image gradients. ICASSP. 2013. P. 1444–1448.



УДК 004.05

## ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДОЛОГИЙ AGILE ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА

Сысоева Л.А.

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет»,  
Москва, e-mail: Leda@rggu.ru*

Рассматриваются подходы к использованию методологий Agile при управлении проектами по развитию функциональных возможностей электронной информационно-образовательной среды университета. Специфика проектов заключается в необходимости организации совместной работы нескольких компаний в сфере информатизации, которые являются разработчиками или сопровождают автоматизированные информационные системы университета. Приводится описание методики применения Agile для управления проектной командой, состоящей из разработчиков нескольких компаний. Дано описание итерационного процесса планирования проекта при Agile подходе. Отмечена особенность процесса планирования проекта, которая проявляется в многоуровневости формирования плана проекта в целом и планов отдельных итераций, распределении процесса планирования на весь срок выполнения проекта. Представлена схема распределения ролей участников проекта. Для проектов, где команды разработчиков состоят из сотрудников нескольких компаний, рассмотрена линейная и комбинированная структура процесса реализации в ходе итерации. Приведен пример реализации структуры доски задач проекта с командой разработчиков из нескольких компаний на платформе Jira. Представленная методика применения Agile может быть использована в ИТ-проектах по развитию имеющихся в организациях информационных систем, автоматизации отдельных бизнес-процессов и дальнейшего их совершенствования.

**Ключевые слова:** процессный подход в управлении, управление проектами, методологии управления проектами информационных систем

## APPROACHES TO THE USE OF AGILE METHODOLOGIES IN THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY

Sysoeva L.A.

*Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, e-mail: Leda@rggu.ru*

Approaches to the use of Agile methodologies in the management of projects to develop the functional capabilities of the electronic information and educational environment of the university are considered. The specifics of the projects are the need to organize the collaboration of several IT companies that are developers or accompany automated information systems of university. Describes how Agile can be used to manage a project team of developers from multiple IT companies. Description of iterative process of project planning under Agile approach. The feature of the project planning process is noted, which is manifested in the multilevel of the formation of the project plan as a whole and the plans of individual iterations, the distribution of the planning process for the whole life of the project. The role allocation of project participants is presented. For projects where the development teams consist of employees of several IT companies, the linear and combined structure of the implementation process during the iteration is considered. This is an example of a project task board structure with a multi-company development team on the Jira platform. The presented Agile application methodology can be used in IT projects to develop existing information systems in organizations, automate individual business processes and further improve them.

**Keywords:** process approach in management, project management, Information systems project management methodologies

Реализация задач национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] связана с организацией и выполнением ИТ-проектов различного вида и уровня. Современным проектам по формированию и развитию единого информационного пространства организаций свойственны: направленность проектов на задачи интеграции информационных систем и технологий, автоматизацию сквозных бизнес-процессов, которые выполняются не только в рамках одной организации, но и на межорганизационном уровне; сжатые сроки реализации; высокий уровень профессио-

нальной квалификации участников проекта и др.

Одним из требований к информационным системам организаций в настоящее время является возможность быстрой адаптации программного обеспечения к изменениям в процессах предметной области. В связи с этим активное развитие в последнее десятилетие получили методы быстрой разработки программных систем: метод быстрой разработки программного обеспечения RAD (Rapid Application Development) (1991 г.) [2], метод разработки программного обеспечения SCRUM (Sprint Continuous

Rugby Unified Methodology) (1995 г.) [3, 4], адаптивная методология разработки программного обеспечения ASD (Adaptive software development) (1997 г.) [2], гибкая методология разработки программного обеспечения Agile (2001 г.) [5, 6]. В основе вышеперечисленных методов лежит итерационная разработка прототипов системы с активным участием заказчиков, в результате которых выпускается программный продукт с новыми функциями, имеющими наивысший приоритет. Такой подход к разработке программного обеспечения позволяет оперативно учитывать изменяющиеся требования и быстро адаптировать к ним процессы жизненного цикла системы.

Цель исследования: рассмотреть подходы к использованию методологий Agile при реализации проектов по развитию функциональных возможностей электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) университета. Описать методику использования Agile для управления ИТ-проектом, реализация которого требует интеграции программных систем, разработанных и сопровождаемых несколькими компаниями.

#### Материалы и методы исследования

Проектам по развитию ЭИОС свойственны все вышеперечисленные характеристики современных ИТ-проектов, а также:

- динамически изменяющиеся требования к программным компонентам ЭИОС;
- выполнение функций ЭИОС требует интегрированного взаимодействия нескольких программных систем;
- автоматизируемые функции реализуются как сквозные процессы различного типа (внешние, внутренние);
- программные системы, входящие в состав ЭИОС, разработаны и сопровождаются как ИТ-службами университета, так и различными ИТ-компаниями.

Учитывая состав и организацию архитектуры программно-технического комплекса ЭИОС университета, для выполнения ИТ-проекта по расширению ее функциональных возможностей – добавление новых функций, основанных на взаимодействии нескольких АИС и корпоративного информационно-образовательного портала, была выбрана методология Agile. Специфика проекта заключается в необходимости организации совместной работы нескольких ИТ-компаний, которые являются разработчиками или сопровождают автоматизированные информационные системы, входящие в состав ЭИОС университета. Структурная схема взаимодействия программных систем, обеспечивающих функционирование ЭИОС, представлена на рис. 1.

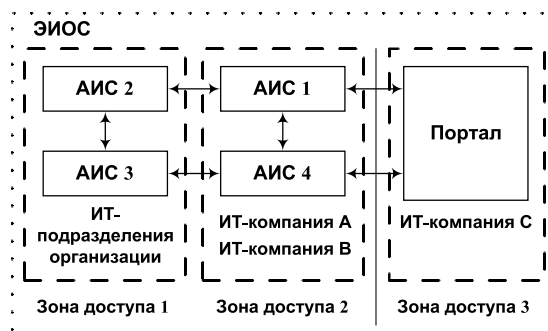


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия программных систем, обеспечивающих функционирование ЭИОС

Использование Agile подхода для реализации данного проекта позволяет [5, 6]:

- сбалансировать вкладываемые в планирование усилия и трудозатраты с учетом того, что план будет пересматриваться в процессе осуществления проекта, причем изменения обусловлены получением новой информации, исправлением ошибок, расширением или сокращением конкретной функции;
- использовать специальные стратегии при формировании команд разработчиков, представляющих различные ИТ-компании, и организации их совместной работы;
- обеспечить активное участие владельца продукта на всех этапах проекта, что позволяет определять необходимый порядок реализации функций, сфокусироваться на разработке наиболее приоритетных для пользователей функций.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим методику использования Agile для управления ИТ-проектом по расширению функциональных возможностей ЭИОС, реализация которых требует интеграции программных систем, разработанных и сопровождаемых несколькими компаниями.

Этап 1. Определение цели проекта.

С учетом стратегии развития ЭИОС определяются цели проведения проекта. Формируется перечень задач, обеспечивающих достижение поставленных целей.

Этап 2. Планирование проекта.

При планировании проекта специфика применения Agile заключается в его многоуровневности (рис. 2), которая проявляется в формировании плана проекта и планов итераций [6].

При Agile подходе к планированию характерны:

- ориентация на возможность внесения изменений в план проекта после выполнения итерации;

– распределение процесса планирования на весь срок выполнения проекта.

В ходе каждой итерации команда реализует одну или несколько небольших функций, и при условии успешного тестирования и получения завершённого статуса она встраивается в программный продукт.

Каждая итерация завершается оценкой ее результатов и планированием, т.е. приня-

тием решения об использовании новых знаний для адаптации проводимых оценок и имеющихся планов к новым, уникальным и конкретным ситуациям в проекте (рис. 3).

Планирование проекта включает определение АИС, обеспечивающих реализацию автоматизируемых функций, и технических служб, сопровождающих программные системы (табл. 1).

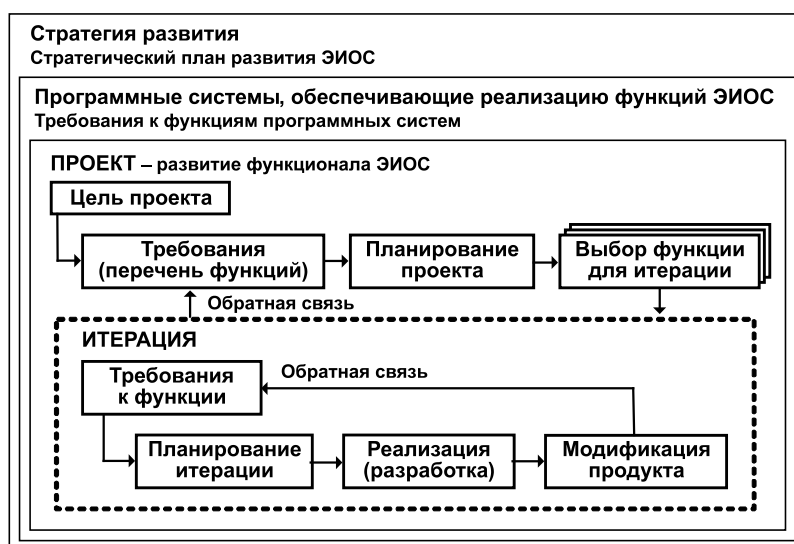


Рис. 2. Многоуровневость планирования итерации при Agile подходе

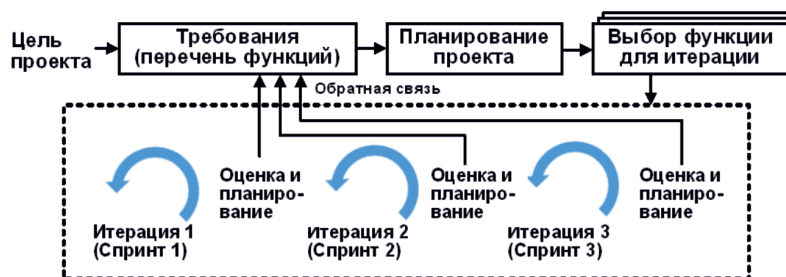


Рис. 3. Итерационный процесс планирования и оценки проекта при Agile подходе

Таблица 1

Программные системы, обеспечивающие реализацию автоматизируемых функций

Функции	Используемые программные системы	Сопровождение	Команды сопровождения
Функция 1	Программная система / приложение организации	ИТ-структуры организации	О-ИТ-А; О-ИТ-В
		Внешние организации	В-ИТ-А; В-ИТ-В
Функция 2	Интегрированное решение, включающее приложения организации	ИТ-структуры организации	О-ИТ-А; О-ИТ-В
		ИТ-структуры организации	О-ИТ-А; О-ИТ-В
		Внешние организации	В-ИТ-А; В-ИТ-В
Функция 3	Интегрированное решение, включающее приложения организации и внешние системы	ИТ-структуры организации	О-ИТ-А; О-ИТ-В
		Внешние организации	В-ИТ-А; В-ИТ-В
		Внешние организации	В-ИТ-А; В-ИТ-В



При выборе функции для итерации Agile-команда ориентируется на бизнес-приоритеты [6]:

- реализация функций в порядке, определенном владельцем продукта, который ранжирует вновь создаваемые функции в проекте;
- направление фокуса на разработку функций, наиболее важных для пользователей.

Этап 3. Планирование итераций.

3.1. Распределение ролей участников проекта.

При Agile подходе распределяются следующие роли между участниками проекта (рис. 4):

- владелец продукта: представляет интересы заказчика, участников реализуемой функции, конечных пользователей;
- мастер итерации: обеспечивает выполнение процессов итерации, организует коллективную работу всех участников проекта посредством специальных программных инструментов, разрешает конфликты, проводит обсуждения, анализ и оценку итерации;

– команда разработки: включает специалистов разного профиля из различных ИТ-компаний, объединенных в единую команду, которая способна в сжатые сроки создавать работающие программные системы с расширенным функционалом.

3.2. Определение процессов итерации.

При Agile подходе основными процессами каждой итерации являются: планирование, выполнение, обсуждение, обзор и ретроспектива итерации [3, 7] (табл. 2).

Планирование итерации включает:

- формирование требований к программной системе на основе сведений, полученных от заказчика, владельца продукта, имеющихся на текущий момент;
- составление перечня задач с указанием их приоритетов (весов);
- подготовка плана итерации: выбор командой разработчиков, представляющих компании А и В, задач, которые имеют наивысший приоритет и которые возможно выполнить в рамках одной итерации.

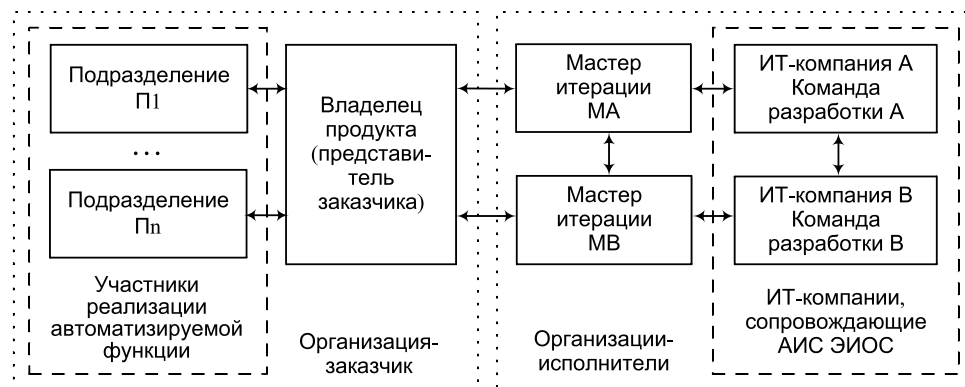


Рис. 4. Схема распределения ролей участников проекта по развитию функциональных возможностей ЭИОС университета

Таблица 2

Процессы итерации

Процессы	1. Планирование итерации	Определение требований итерации. План итерации в целом. Планы итерации для компаний А и В
	2. Реализация (разработка)	Реализация задач итерации (разработка). Реализация задач итерации компаниями А и В
	3. Обсуждение	Регулярные коммуникации по задачам итерации в целом; по задачам итерации, выполняемым компаниями А и В
	4. Анализ результатов	Демонстрация, анализ результатов итерации по проекту в целом, подведение итогов. Демонстрация, анализ результатов итерации по задачам компаний А, В; подведение итогов
	5. Ретроспектива	Выявление проблем в реализации процессов итерации, поиск решений и учет их в дальнейшем планировании

Следует учесть, что в процессе реализации итерации состав задач не может изменяться.

### 3.3. Описание артефактов проекта [3, 6].

В состав артефактов проекта входят: цели проекта и итераций, бэклоги проекта и продукта, инкремент продукта (табл. 3).

Этап 4. Определение модели процесса реализации.

Реализация в ходе итерации включает процессы: планирование, анализ, проектирование, разработка, тестирование, оценка, обсуждение [3, 7].

В проектах, где участвуют команды разработчиков нескольких ИТ-компаний (компания А, компания В), структура процесса реализации может быть линейной

и комбинированной (рис. 5). При линейной структуре в процессе реализации последовательно участвуют команды ИТ-компаний (рис. 5, Итерация 1). При реализации комбинированной модели возможны комбинации параллельной, последовательной и совместной работы команд разработчиков ИТ-компаний (рис. 5, Итерация 2, Итерация 3).

Этап 5. Формирование структуры доски задач проекта.

Для организации коммуникаций и координации совместной работы всех участников проекта применяются специальные программные инструментальные средства [8], реализующие функции доски задач проекта (рис. 6).

Таблица 3

Описание артефактов проекта

Артефакты	Цели	Цели проекта. Цели итерации
	Бэклог проекта	Формирование банка задач проекта в целом, задач проекта для компаний А и В с указанием приоритета (веса) каждой задачи. Формирование банка задач итерации в целом, задач итерации для компаний А и В с указанием приоритета (веса) каждой задачи. Формирование результатов в итерации по задачам компаний А и В
Бэклог продукта	Описание функций программного продукта по итерации в целом. Описание функций, реализованных компаниями А и В	
Инкремент продукта	Результат выполнения итерации (программный продукт с новым функционалом)	

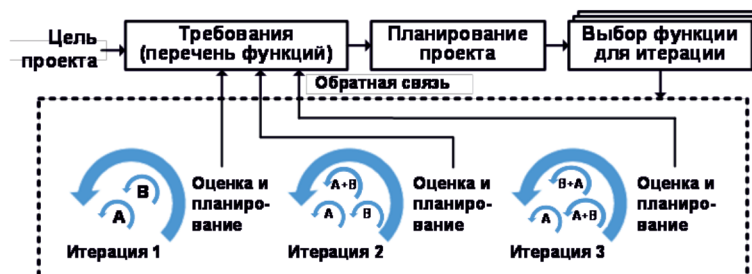


Рис. 5. Структурная схема процесса реализации в итерациях проекта

	Новая	Подтверждена	В работе	Тестирование	Решена
Команда разработчиков компании А	1 3	1 1			
Команда разработчиков компании В	2 4	1 1			
Команда разработчиков компаний А и В	5	1 1			

Рис. 6. Структура доски задач проекта с командой разработчиков из нескольких компаний

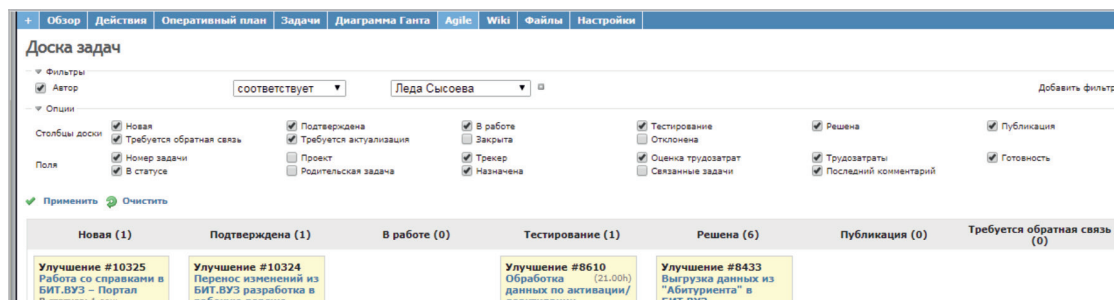


Рис. 7. Структура доски задач на платформе Jira

Доска задач проектов может включать блоки: новая; подтвержденная; в работе; тестирование; решена; требует обратной связи (рис. 7) – что позволяет всем участникам проекта оперативно выполнять мониторинг состояния задач по каждому статусу, объем выполненных по ним работ, выявление простоев и очередей задач в том или ином блоке. В качестве инструментального средства для выполнения функций проектного менеджмента на основе методологии Agile может быть выбран программный продукт Jira [9].

### Заключение

Таким образом, использование методологий Agile позволяет сконцентрироваться на создании конкретного результата, сформировать доверительные отношения между заказчиком и проектными командами, посредством полной прозрачности действий всех участников и информирования их по мере появления изменений, а также представляются специализированные средства для управления проектной командой, состоящей из разработчиков нескольких ИТ-компаний.

### Список литературы

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» / Утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 года (прот. № 16). [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNLo6czMkPF.pdf>. (Дата обращения: 10.05.2020).
2. Шафер Д., Фатрел Р., Шафер Л. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1136 с.
3. Сазерленд Дж. Scrum. Революционный метод управления проектами. М.: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2017. 272 с.
4. Исчерпывающее руководство по Скраму: Правила Игры. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scrum.org/scrum-guide> (дата обращения: 10.05.2020).
5. Аппело Ю. Agile-менеджмент: Лидерство и управление командами. Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2019. 534 с.
6. Кон М. Agile: Оценка и планирование проектов / Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2018. 418 с.
7. Репин В., Елиферов В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
8. Буценко Е.В. Анализ программных средств управления инвестиционными проектами // Управленец. 2017. № 1 (65). С. 72–77.
9. Официальный сайт Jira Software. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atlassian.com/ru/software/jira> (дата обращения: 10.05.2020).

УДК 004.056.53

**УЯЗВИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ СИСТЕМ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ****Караммаев М.М., Топорков С.Е., Короченцев Д.А., Смирнов И.А., Черкесова Л.В.***ГОУ ВПО «Донской государственный технический университет»,  
Ростов-на-Дону, e-mail: chia2002@inbox.ru*

Авторами рассмотрены уязвимости систем квантовой криптографии и квантового распределения ключей. Несмотря на надёжность самой квантовой линии связи, направлением успешной атаки злоумышленника становится программное обеспечение, осуществляющее передачу данных, или уязвимости программно-аппаратной реализации систем квантового распределения ключей. Для отечественного применения квантовых технологий возможно использование российских сертифицированных систем шифрования («Кузнечик», ГОСТ 34.12–2015, или «Magma», ГОСТ 28147–89), что способствует развитию государственной политики импортозамещения. Описаны разновидности когерентных и некогерентных кибератак, основанных на перехвате и перепутывании фотонов, на перепутывании квантовых проб и др. Рассмотрена атака ослепления однофотонного детектора получателя и возможная защита от неё, связанная с установкой перед детектором источника единичных фотонов, срабатывающего в случайные моменты времени. Проанализирована атака разделения фотонов и защита от неё, связанная с использованием идеальных источников фотонов или с модификацией квантового протокола BB84. Изучена возможность хакера заменить квантовый канал с потерями – на канал без потерь, что позволит злоумышленнику получить информацию о ключе, успешно считывая все передаваемые данные и не внося ошибок. На практике следует применять только квантовые каналы с высоким коэффициентом передачи, что позволит избежать успешного применения такой атаки. Исследована атака типа «квантовый троян», заключающаяся в отправке получателю яркого светового луча и дальнейшем анализе возвращённого луча. Данная атака способна восстановить ключ, и для защиты от неё следует установить монитор-детектор, который случайным образом перенаправляет часть входящих сигналов на детектор получателя. Эффективным решением является *постоянное наблюдение за лавинными светодиодами* получателя в реальном времени. Несмотря на кажущееся совершенство, на практике имеется множество уязвимостей, дыр и брешей в структуре самого канала связи, что не гарантирует защиту передаваемых данных от атак злоумышленников.

**Ключевые слова:** квантовая криптография, квантовые линии связи, импортозамещение, когерентные и некогерентные кибератаки, атака с ослеплением детектора, атака разделения фотонов, атака замены квантового канала

**VULNERABILITIES OF QUANTUM CRYPTOGRAPHY  
SYSTEMS IMPLEMENTATIONS****Karammaev M.M., Toporkov S.E., Korochentsev D.A., Smirnov I.A., Cherkkesova L.V.***Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: chia2002@inbox.ru*

Authors consider vulnerabilities of quantum cryptography and quantum key distribution systems. Despite of reliability on quantum communication line as such, direction of successful hacker's attack is transmitting data software, or vulnerabilities in hardware-and-software implementation of quantum key distribution systems. For domestic quantum technologies application, it is possible to use Russian certified encryption systems («Kuznechik», GOST 34.12–2015, or «Magma», GOST 28147–89), which contributes to import substitution state policy development. Different types of coherent and incoherent cyberattacks, based on photons interception and re-transmission, on quantum samples mixing-up are described. Blinding attack of single-photon receiver detector and possible protection against it, associated with installation of single photon source in front of detector, which operating at random time moments, was considered. Attack of photon separation and protection against it, associated with using of ideal photon sources or with quantum protocol BB84 modification, was analyzed. Possibility of hacker to replace quantum channel with losses – to channel without losses, which will allow attacker to get information about key, to read successfully all transmitted data, without making errors. In practice, only quantum channels with high transmission coefficient should be used, which will avoid successful application of such attack. Attack of «quantum Trojan» type, which consists in sending of bright light ray to recipient and further analyzing returned ray, is investigated. This attack can restore the key, and to protect against it, installing detector-monitor that randomly redirects some of incoming signals to receiver's detector is necessary. Effective solution is constant monitoring avalanche LEDs of receiver in real time. Despite apparent perfection, in practice there are many vulnerabilities, gaps and security holes in structure of communication channel, which does not guarantee the protection of transmitted data from hackers attacks.

**Keywords:** quantum cryptography, quantum communication lines, import substitution, coherent and incoherent cyber-attacks, detector blinding attack, photon separation attack, attack of quantum channel replacement

Системы квантовой криптографии до недавнего времени считались неуязвимыми, так как в них, для обеспечения секретности информации, используются не традиционные математические методы, а делается упор на передачу информации с помощью

объектов квантовой механики. В действительности квантовые линии связи могут защитить, к примеру, от атак типа «человек посередине» [1]. Однако, несмотря на достаточную надёжность самой квантовой линии связи, направлением успешной ата-

ки злоумышленников может оказаться программное обеспечение, осуществляющее передачу информации, либо прочие уязвимости конкретных программно-аппаратных реализаций систем квантового распределения ключей.

Как и в классических системах распределения ключей, для осуществления передачи информации целесообразно использовать синхронный шифр, например AES-128-GCM или ШАСНА20-POLY1305. Для отечественного применения новых квантовых технологий, с использованием синхронных шифров, не исключаются возможность использования российских сертифицированных систем шифрования, таких как «Кузнечик» (ГОСТ 34.12-2015) или «Магма» (ГОСТ 28147-89), что не только не противоречит, но и способствует развитию внутренней государственной политики импортозамещения [2].

С чем связано и в чем кроется причина применения синхронных шифров в квантовом шифровании? Причиной этому является довольно низкая скорость обмена данными при использовании асинхронных шифров либо низкая скорость функционирования квантовой системы распределения ключей. Допустим, что злоумышленник подключается к квантовой линии связи (рис. 1) в момент передачи фотона и пытается измерить его состояние.

Частица мгновенно изменяет своё состояние случайным образом – это следствие *эффекта наблюдателя* [3]. Отправитель и получатель сразу узнают о попытке компрометации (несанкционированного доступа к информации) и начинают пере-

дату данных заново. Так работает система квантовой связи в идеальных условиях. Но на практике не существует технически идеальных систем, поэтому передаваемая по достаточно надёжной квантовой линии связи информация всё же может быть уязвима к целому ряду кибератак.

Для решения задач информационной безопасности и защиты данных нужны серьёзные исследования существующих сегодня уязвимостей программно-аппаратных реализаций систем квантовой криптографии, изучение разновидностей возможных кибератак, направленных на перехват (несанкционированный доступ) передаваемой информации, и разработка методов их предотвращения и отражения с целью защиты конфиденциальности информации от действий злоумышленников различного рода. Такую цель исследований авторы и поставили перед собой.

### Материалы и методы исследования

Рассмотрим виды когерентных и некогерентных кибератак.

*Когерентность* – это совместное и скоординированное развитие колебательных или волновых процессов во времени, что становится очевидным при их сложении. Колебания можно назвать когерентными только в том случае, когда разность их фаз во времени остаётся неизменной. При суммировании колебаний этот факт и обуславливает амплитуду итогового сложения колебаний. Если разность фаз колебаний во времени изменяется, то это означает, что колебательные процессы некогерентны и несогласованы во времени [4].

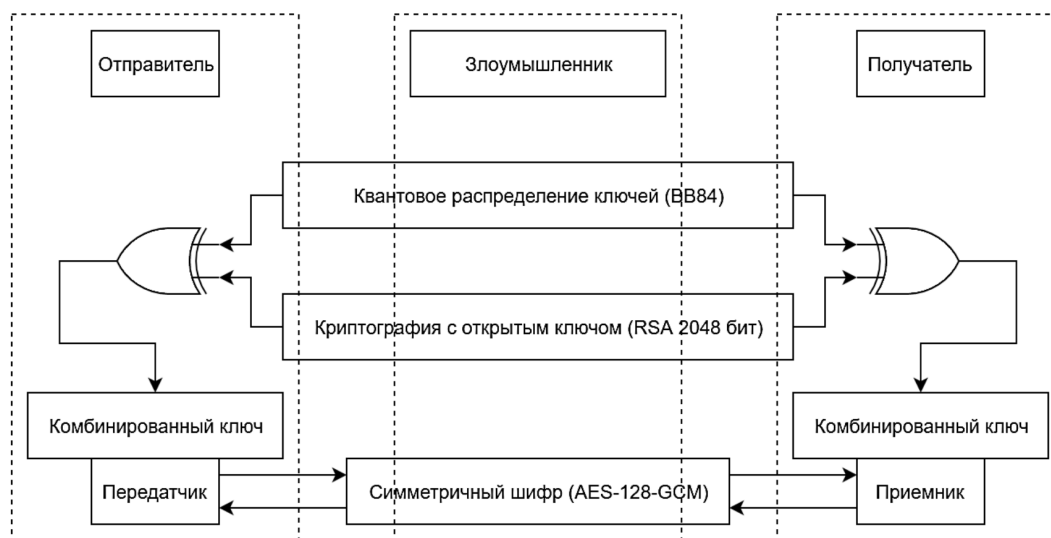


Рис. 1. Схема передачи данных с использованием системы квантового распределения ключей



Простейшей атакой может являться *когерентная атака*, основанная на перехвате и переотправке фотонов. Злоумышленник считывает данные в случайном базисе и отправляет их далее по линии связи. Если базис угадан, то злоумышленник успешно перехватывает бит информации (таблица). Квантовый протокол BB84 неуязвим к данному виду атаки при достаточно большом размере ключа, поскольку вероятность успешного применения такой атаки равна  $P = \frac{1}{2^n}$ , где  $n$  – количество бит ключа.

В случае если отправитель и получатель публично сравнивают некоторые биты (эти биты уже не являются секретом и не могут быть использованы в ключе), то при сравнении  $n$  битов вероятность обнаружения злоумышленника равна

$$P = 1 - \left(\frac{3}{4}\right)^n.$$

При отправке 384 бит информации, из которых только 128 случайных бит являются ключом, вероятность обнаружения злоумышленника бесконечно близка к единице.

Злоумышленник – хакер имеет возможность смешать образец каждого измерения со всем набором (рядом) переданных отдельных фотонов каким-то единым (унитарным) способом [5].

Крайний случай подобной атаки заключается в том, что хакер может перепутать свои образцы (пробы) с полным набором фотонов, последовательно передаваемых отправителем. Затем хакер сохраняет свои образцы (большой пробы) до завершения всех обменов сообщениями, происходящих между отправителем и получателем по квантовой линии связи. После этого он выполняет общее измерение состояния образцов пробы любым методом по своему желанию [5].

Составной частью когерентных атак можно назвать *коллективные атаки*. При

их проведении каждый фотон, полученный с передатчика, по отдельности перепутывается с индивидуальной пробой квантового образца, точно так же, как это происходит при некогерентных атаках. Разница состоит в том, что такое измерение будет выполняться не для каждой пробы отдельно, а сразу и одновременно на всех квантовых пробах, которые рассматриваются как целостная и неразделимая квантовая система. Результат коллективной атаки – определение базиса отправителя.

В случае *некогерентных атак* хакеру приходится отдельно обрабатывать каждый проходящий из передатчика фотон. Самым простым способом такой атаки является уже рассмотренная ранее *атака перехвата и пересылки фотона*. Так как при этой атаке фотоны дальше по линии связи не пропускаются, а пересылаются уже новые фотоны, то эта стратегия называется *непрозрачной* [6].

Некогерентные атаки включают также *атаку перепутывания квантовых проб* с фотонами, пересылаемыми по каналу квантовой связи. В этом случае каждый фотон, независимо от других, должен быть перепутан с отдельным образцом (пробой). Обработанный фотон посылается на приёмник. После этого хакер может сохранять свои пробы в квантовой памяти и, по отдельности, измерять их состояния после того, как абоненты квантового канала связи завершат свой открытый обмен сообщениями. Прослушивая открытые сообщения, злоумышленник сможет получить базисы, используемые отправителем, а, значит, найти свой способ измерений для получения недостающих данных об использованном ключе [5; 7].

Этот вид атаки интерпретируется как *полупрозрачная атака*, потому что состояния фотонов, с которыми хакер перепутывает свои образцы (пробы), меняются. Уровень ошибок, вносимых хакером, может быть снижен за счёт уменьшения объёма данных о ключе, которые он получает [7].

#### Пример попытки применения атаки перехвата и переотправки фотонов

Случайный бит отправителя	0	1	0	0
Случайный базис отправителя	+	×	×	×
Поляризация фотона отправителя	↑	↘	↗	↗
Случайный базис злоумышленника	+	+	+	×
Поляризация фотона злоумышленника	↑	→	→	↗
Случайный базис получателя	+	×	×	×
Поляризация фотона получателя	↑	↗	↗	↗
Ошибка в ключе	нет	да	нет	нет
Утечка ключа	да	нет	нет	да



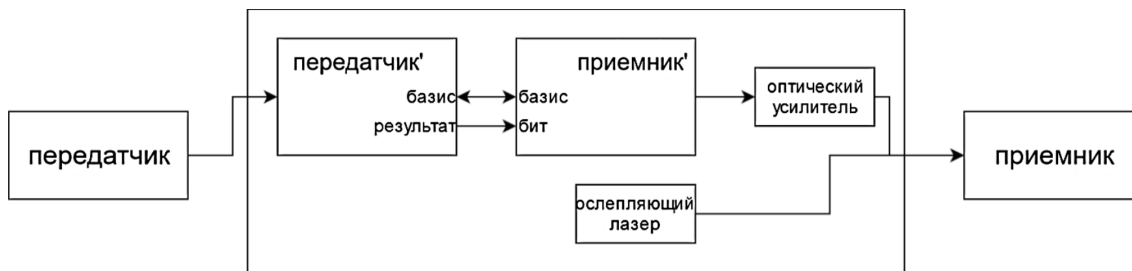


Рис. 2. Схема применения атаки с ослеплением детектора

*Атаки на детектор.* Рассмотрим атаку с ослеплением однофотонного детектора получателя [8], разработанную исследовательской группой В. Макарова в Норвежском университете естественных и технических наук. Злоумышленник считывает информацию, отправляемую передатчиком, и отправляет её дальше по каналу связи, но использует очень мощный импульс (рис. 2). Несовершенный детектор воспринимает такой импульс как обычный сигнал, в результате чего теряется эффект наблюдателя. При этом злоумышленник остается незамеченным, и получает возможность считывать всю информацию, передаваемую по квантовому каналу связи.

Защититься от такой уязвимости можно, установив перед детекторами источник единичных фотонов [9], срабатывающий в случайные моменты времени. Это позволит убедиться, что детектор не считывает световые сигналы в обычном режиме, а работает в квантовом режиме.

Еще один пример успешной атаки – атака разделения фотонов. В протоколе BB84 для отправки квантового состояния используются лазерные импульсы. В большинстве реализаций за каждый импульс передается очень малое количество фотонов (в основном от 0 до 2). Они распределены по импульсам в соответствии с распределением Пуассона [10].

За импульс передается ноль фотонов, иногда один, реже два или больше (рис. 3). В случае когда за один импульс передается больше одного фотона, злоумышленник может их разделить, а отведенный фотон будет перепутан с пробой [11].

Оставшаяся неизменная часть данных будет переслана получателю, а хакер-перехватчик сможет узнать правильное значение пересылаемого бита, не внося ошибок в отфильтрованный ключ. Это позволяет хакеру оставаться незамеченным и скрытным, считывая данные [9].

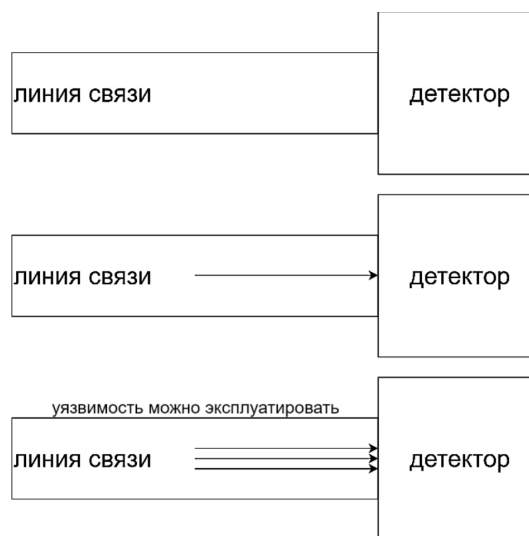


Рис. 3. Условия применения атаки разделения фотонов

Существует несколько решений этой проблемы. Лучшим решением было бы использовать идеальные источники фотонов. Они находятся в активной разработке и уже давно успешно применяются [12]. Другое решение – модификация протокола BB84 [13].

Например, в протоколе SARG04 отправитель не анонсирует базис своего бита [14]. В результате злоумышленнику потребуются хранить гораздо больше копий измерений для того, чтобы определить состояние фотонов, что и не позволит ему успешно реализовать свою атаку.

На практике все еще используют слабые когерентные импульсы, излучаемые лазерными светодиодами – многофотонные источники. Поскольку большая часть импульсов несет всего один фотон, злоумышленник должен пропускать их, чтобы остаться незамеченным. При малом количестве импульсов, с числом фотонов более одного, количество перехваченной информации очень

мало. Скорее всего, перехватчик будет вынужден обратиться к другой стратегии, например к блокированию импульсов только с одним фотоном. Такая стратегия может позволить злоумышленнику остаться незамеченным, восстановив всю информацию о ключе.

*Замена квантового канала.* Обсудим также вероятность того, что хакер может поменять квантовый канал, имеющий потери, используемый абонентом, на канал, потерь не имеющий. Такую замену канала с потерями на канал без потерь вполне может *не заметить* ни отправитель, ни получатель. Если ему это удастся, то тогда злоумышленник сможет задержать и заблокировать большинство импульсов (при условии, что исходный канал имел большой процент потерь) так, чтобы приёмник получил приблизительно ожидаемое число импульсов [15]. Так, хакер сможет получить всю информацию о ключе, успешно считывая все передаваемые данные и не внося никаких ошибок. Отсюда следует, что на практике следует применять только *квантовые каналы с высоким коэффициентом передачи* во избежание успешного применения такой атаки.

В институте Макса Планка была разработана *квантовая атака типа «квантовый Троян» (Троянский конь)*. Она заключается в отправке достаточно яркого луча света получателю и анализе возвращенного луча [16]. Будучи направленной на протокол SARG04, данная атака восстанавливает ключ, считывая случайный базис получателя с вероятностью выше 90%. Протокол SARG04 более устойчив к атаке разделения фотонов, чем BB84 [10; 13], однако уязвим к атаке «Троянский конь», и требует установки монитора–детектора, который случайным образом перенаправляет некоторую часть входящих сигналов на детектор получателя [17].

Также эффективным решением может оказаться *постоянное наблюдение за лавинными светодиодами* получателя в реальном времени [18].

### Результаты исследования и их обсуждение

В реальности не существует технически идеальных систем. Это относится и к квантовым системам связи. Поэтому передаваемая по квантовому каналу информация, несомненно, может быть уязвима к целому ряду различных квантовых атак: когерентным и некогерентным, атакам на детектор, атакам разделения фотонов и др. На данный момент времени известно около 20 атак на квантовые линии связи. Можно утверждать, что со временем и с расширением использо-

вания во всём мире квантовых линий связи (квантового Интернета) количество разновидностей потенциальных квантовых атак будет только возрастать.

В процессе формирования системы и комплекса документов сертификации по квантовой криптографии возникает проблема, связанная с тем, что теоретически квантовые системы связи являются надёжными и принципиально невзламываемыми, но на практике – далеко не идеальны. Они очень сложны, а квантовый протокол можно уместить на двух страницах текста. На практике, чтобы провести оптическую обработку сигнала, в квантовой системе связи имеются 20–30 сложных электрооптических компонентов, имеется обилие программного кода, тысячи электронных компонентов, огромное количество алгоритмов синхронизации, которые в *описании протокола вообще отсутствуют*, и многое другое. Однако оптические компоненты имеют многие несовершенства и неидеальности, а также отклонения от того, каким образом квантовый протокол предписывает им работать. Системы делают люди – инженеры, которые должны выполнить план и всё сдать в срок. Это порождает значительное число уязвимостей, брешей и дыр в безопасности; различий между идеальным проектом разработчика и небезупречной, далекой от идеала его практической реализацией.

### Заключение

Последние разработки и новшества в области квантовой криптографии, несмотря на своё кажущееся совершенство, имеют достаточно много уязвимостей, дыр и брешей в своей структуре, и вовсе не могут гарантировать на 100% защиту передаваемой информации от атак злоумышленников различных категорий. Всё сказанное выше и является питательной средой для осуществления квантового хакинга.

### Список литературы

1. Huang D., Chen Z., Guo Y., Lee M. Quantum Secure Direct Communication Based on Chaos with Authentication. Journal of the Physical Society of Japan. 2007. Vol. 76. No. 12. P. 124001.
2. TLS (Channel SSP) changes in Windows 10 and Windows Server // Microsoft. Docs. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/security/tls/tls-channel-ssp-changes-in-windows-10-and-windows-server> (date of access: 09.05.2020).
3. Квантовый троян: «абсолютно защищённая» связь оказалась дырявой // РИА Новости. 2018. [Электронный ресурс]. URL: [https://ria.ru/20181122/1533223834.html?utm\\_source=news.mail.ru&utm\\_medium=region\\_informer&utm\\_campaign=rian\\_partners](https://ria.ru/20181122/1533223834.html?utm_source=news.mail.ru&utm_medium=region_informer&utm_campaign=rian_partners) (дата обращения: 09.05.2020).
4. Что такое квантовая когерентность? Физик Сергей Филлиппов о квантовой когерентности и её практической значимости // Постнаука. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://postnauka.ru/faq/92455> (дата обращения: 09.05.2020).

5. Василиу Е.В. Стойкость квантовых протоколов распределения ключей типа «приготовление–измерение» // *Computer Sciences and Telecommunications*. 2007. № 2 (13). С. 52–64.
6. Кузнецова А.В. Стратегии атак на квантовые протоколы защиты информации // *Цифровые технологии*. 2013. № 14. С. 145–149.
7. Василиу Е.В., Мамедов Р.С. Анализ стойкости к некогерентным атакам квантовых протоколов распределения ключей типа «приготовление–измерение» с кудитами // *Современные информационные технологии. Информационная безопасность*. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rusnauka.com/29\\_NNM\\_2008/Informatica/35980.doc.htm](http://www.rusnauka.com/29_NNM_2008/Informatica/35980.doc.htm) (дата обращения: 09.05.2020).
8. Lydersen L., Wiechers C., Wittmann C., Elser D., Scaar J., Makarov V. Hacking Commercial Quantum Cryptography Systems by Tailored Bright Illumination. *Nature Photonics*. 2010. № 4 (10). P. 686–689.
9. Действительно ли надежна квантовая криптография? // Блог компании Toshiba. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/444502/> (дата обращения: 09.05.2020).
10. Bennett C., Brassard G. Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing. *Theoretical Computer Science*. 2014. Vol. 560 (Part 1). P. 7–11.
11. Brassard G., Lütkenhaus N., Mor T., Sanders B.C. Security Aspects of Practical Quantum Cryptography. *EUROCRYPT 2000. Advances in Cryptology. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2000. Vol. 1807. P. 289–299.
12. Intallura P.M., Ward M.B., Karimov O.Z., Yuan Z.L., See P., Shields A.J. Quantum Key Distribution Using a Triggered Quantum Dot Source Emitting near 1.3  $\mu\text{m}$ . *Applied Physics Letters*. 2007. Vol. 91(16). P. 161103.
13. Черданова Е.М., Мамченко Е.А., Марчук А.М., Речкунов А.А. Математическое моделирование квантового распределения ключа протокола BB84 // *Политехнический молодежный журнал*. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://ptsj.ru/articles/319/319.pdf> (дата обращения: 09.05.2020).
14. Scarani V., Acin A., Ribordi G., Gisin N. Quantum Cryptography protocols Robust against Photon Number Splitting Attacks for Weak Laser Pulses Implementations. *Physical Review Letters*. 2004. (Feb). Vol. 92 № 5. Art. 057901.
15. Niederberger A., Scarani V., Gisin N. Photon–number–splitting Versus Cloning Attacks in Practical Implementations of the Bennett–Brassard 1984 Protocol for Quantum Cryptography. *Physical Review A*. 2005. Vol. 71. Art. 042316.
16. Jain N., Anisimova E., Khan I., Makarov V., Marquardt C., Leuchs G. Trojan–Horse Attacks Threaten the Security of Practical Quantum Cryptography. *New Journal of Physics*. 2014. Vol. 16 (12), Art. 123030. P. 1–22.
17. Da Silva T.F., Temporao G.P. Von der Weid J.P., Xavier G.B. Real–Time Monitoring of Single–Photon Detectors against Eavesdropping in Quantum Key Distribution Systems. *Optics Express*. 2017. Vol. 20. № 17. P. 18911–18924.
18. Все важные секреты перестанут быть секретами в будущем // KNEWS. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://knews.kg/2019/08/20/vse-vazhnye-sekrety-perestanut-byt-sekretami-v-budushhem-o-kvantovoj-kriptografii-dyrah-v-sistemah-i-atakah-na-sputniki/> (дата обращения: 09.05.2020).

УДК 004.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ПОДБОРА ТУРИСТИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО НАБОРУ КРИТЕРИЕВ И РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ФИРМЫ

**Котелевский В.Р., Абрамова О.Ф.**

*Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ «Волгоградский государственный  
технический университет», Волжский, e-mail: vental74@gmail.com*

На данный момент ввиду переизбытка информации в современном мире обычный пользовательский поиск релевантной информации в сети Интернет является достаточно затруднительным. Работники сферы услуг ежедневно сталкиваются с большим потоком задач, вследствие чего возможны ошибки, обусловленные человеческим фактором. В бизнесе при работе с клиентами ошибки подобного рода являются недопустимыми. Среди множества процессов, протекающих в туристической фирме, поиск туристического направления в соответствии с клиентскими предпочтениями является наиболее проблематичным. Ввиду отсутствия структурированных данных заданной тематики, достаточного информационного обеспечения, подлаженного под конкретную организацию, сотрудники тратят много ресурсов и сил на осуществление данного процесса. Для решения данной проблемы автором предлагается разработать систему, которая обеспечивала бы поиск, сбор и агрегирование информации из определенных источников, накопление и обработку знаний для туристической фирмы «Броня». Разработанное мобильное приложение поможет в осуществлении автоматизации информационных бизнес-процессов и, как следствие, упрощении поиска туров сотрудниками бюро путешествий. Для того чтобы облегчить интерпретацию нечетких клиентских предпочтений, автором также были разработаны критерии поиска туристических направлений.

**Ключевые слова:** мобильное приложение, поиск тематических наборов данных, туристическая фирма, критерии поиска

## PROBLEMS RESEARCH OF SELECTING A TOURIST DESTINATION ACCORDING TO A SET OF CRITERIA AND MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT FOR A TRAVEL COMPANY

**Kotelevskiy V.R., Abramova O.F.**

*Volga Polytechnic Institute (branch) Volgograd state technical University, Volzhsky,  
e-mail: vental74@gmail.com*

At the moment, due to the overabundance of information in the modern world, the usual user search for relevant information on the Internet is quite difficult. Employees in the service sector face a large number of tasks on a daily basis, which may lead to errors caused by the human factor. In business, when working with clients, errors of this kind are unacceptable. Among the many processes that take place in a travel company, the search for a tourist destination in accordance with customer preferences is the most problematic. In view of the lack of structured data on a given topic, sufficient information support that is tailored to a specific organization, employees spend a lot of resources and effort to implement this process. To solve this problem, the author proposes to develop a system that would provide search, collection and aggregation of information from certain sources, accumulation and processing of knowledge for the travel company «Bronya». The developed mobile application will help in automating information business processes, and as a result, simplify the search for tours by travel Agency employees. In order to facilitate the interpretation of fuzzy customer preferences, the author also developed criteria for searching tourist destinations.

**Keywords:** mobile app, search for thematic data sets, travel company, search criteria

На данный момент в РФ происходит создание мощной информационной системы, высокими темпами формируется единое цифровое пространство. Во многих сферах деятельности просматривается тенденция активного освоения и использования новых информационных технологий. Отличительной чертой последних является смещение акцента с вычислений в сторону систематизации информации. Также, помимо традиционного представления символической информации, можно наблюдать расширение применения таких форм представления, как изображения, видео, звуковая информация, карты, графики и т.д.

Среди главных особенностей развития большинства сфер деятельности, включая промышленность, образование, медицину, бизнес и др., можно выделить использование информационных ресурсов, которые доступны через Интернет. В ходе деятельности компании разрабатывают, приобретают и накапливают большое количество подобных информационных ресурсов, в результате чего образуются большие неструктурированные объемы информации. Поэтому все большую роль играют информационные системы, которые предоставляют возможность работы с уже сформированным тематическим набором данным [1]. На сегодняшний день практически невоз-



можно представить организацию, не применяющую подобные технологии.

Актуальной проблемой на сегодняшний день является решение проблемы поиска необходимых клиенту данных в большом объеме неструктурированной информации, которая может храниться на персональных компьютерах, в компьютерных сетях.

#### Материалы и методы исследования

В.И. Аверченков дает следующее определение сети Интернет: «глобальная компьютерная сеть, объединяющая тысячи региональных сетей». Использование данной Сети позволяет сократить издержки на обработку информации, повысить качество предоставляемых услуг, ускорить процессы обмена, накопления, использования информационных ресурсов. Существенное влияние оказал Интернет на способы создания, предоставления, поиска информации. Созданы разнообразные, широкие возможности для доступа к различным видам информации для пользователя. Интернет позволяет работать с тысячами электронных каталогов, базами данных, архивами документации, журналами, газетами, справочниками. Все вышеперечисленные материалы можно получить непосредственно с рабочего места пользователя [2].

Частичное решение проблемы достоверного информационного обеспечения могут предоставить традиционные поисковые системы [3]. Однако на данный момент поиску информации все еще присущи такие проблемы, как низкая оперативность, зависимость от выбора источника, ограниченность спектра источников, отсутствие средств уведомления о новых данных. Основной формат предоставления информации HTML также порождает проблемы нахождения необходимых ресурсов, первоначально он был разработан для отображения содержимого на сайтах. Как следствие, не всегда является удобным для автоматической обработки информации. Таким образом, информация в сети Интернет ориентирована в первую очередь на отдельные веб-ресурсы и плохо адаптируется для автоматизированной работы, как следствие, затруднены обобщение, аналитическая обработка, классификация [4].

Таким образом, стала необходимой организация особого вида ресурсов, который призван обеспечивать поиск, сбор и агрегирование информации из определенных источников, накапливать и обрабатывать знания. Основываясь на проведенном анализе деятельности бизнес-организаций, можно сделать вывод, что на современном этапе, наряду с традиционными информа-

ционными ресурсами, все более усиливается значение собранных, формализованных, интегрированных экспертами или аналитиками данных. Разработка подобных информационных систем способствует успешной деятельности организаций, т.к. обеспечивает совместное использование собранной информации специалистами компаний в рамках своей компетенции. Компаниям, которые внедряют в свою деятельность системы, содержащие в себе комплексные технологические решения, поддерживающие различные этапы формирования и использования данных и знаний, удалось достигнуть значительных результатов [5].

Объектом данного исследования является туристическая фирма «Броня». Деятельность бюро путешествий достаточно сложна и состоит из ряда разнородных процессов, связанных различными закономерностями.

Для определения требований к программному обеспечению организации было проведено изучение и моделирование ее бизнес-процессов [6].

Работа с клиентом в бюро путешествий начинается с его обращения в туристическую фирму. Клиент должен описать свои предпочтения относительно предстоящего тура, ориентируясь на свои финансовые возможности, предполагаемые даты, желаемый вид отдыха и другие параметры. Сотрудник осуществляет поиск подходящих туров согласно заявке. В ходе дальнейшей консультации он также уведомляет клиента о требованиях различных туроператоров. Клиент сообщает о своем выборе либо об отказе от услуг данной туристической фирмы. В случае положительного ответа клиент предоставляет свои персональные данные. Сотрудник компании оформляет необходимые документы, составляет договор, формирует счет. После оплаты клиент получает оформленный тур.

Особый интерес представляет процесс «Подбор туров по заданным критериям». При описании внутренних процессов «как есть» можно обнаружить ряд проблем (таблица).

При рассмотрении процессов «как есть» можно выделить ряд проблем, присущих бизнес-процессам организации:

- 1) нерациональная трата материальных ресурсов и времени на поиск подходящих туров;
- 2) недостаточная надежность системы: данные на бумажных носителях могут быть утеряны;
- 3) отсутствие четких критериев поиска, что усложняет работу сотрудника компании.



## Внутренние процессы подбора туров

Внутренний процесс	Описание	Проблемы
Первичная консультация, заполнение анкеты клиентом	Поиск анкеты и ее последующее заполнение клиентом	Анкета может быть неправильно оформлена; нерациональная трата ресурсов
Интерпретация пожеланий клиента, выявление требований	На основе заполненной анкеты сотрудник определяет критерии поиска подходящих туров	Отсутствие конкретных и понятных критериев подбора тура; возможна неправильная интерпретация ввиду неопытности/недостаточной компетентности сотрудника
Поиск подходящего тура по клиентским предпочтениям	Поиск информации о турах, подбор подходящего тура вручную	Труднодоступность информации; отсутствие четких критериев поиска
Оформление заявки для последующей обработки	Поиск необходимых документов для заполнения бланка заявки вручную и отправка заявки на рассмотрение	Заявка может быть утеряна; нерациональная трата ресурсов

Таким образом, если у фирмы отсутствует программное обеспечение, большая часть рутинной работы производится вручную, что может привести к потере положения на рынке как следствие неэффективности работы. Поэтому для успешного функционирования туристической фирмы необходимо наличие соответствующего ПО.

Для решения вышеуказанных проблем предлагается разработать систему в виде мобильного приложения, которая оптимизирует бизнес-процессы организации, а также содержит всю информацию, необходимую сотрудникам для решения поставленных задач.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Разработка мобильного приложения позволит исключить ошибки персонала при работе с большим потоком данных, определить четкие и понятные критерии поиска необходимой информации, использовать визуальный компонент при работе с клиентами, повысить качество обслуживания путем сокращения времени работы на каждом этапе.

Среди предоставляемых мобильным приложением возможностей можно выделить работу с данными, осуществление поиска по заданным критериям и составление тематического набора данных, формирование отчетов по турам, клиентам, сотрудникам фирмы.

Функционирование программы включает ограничения, реализуемые на уровне пользователей. Реализация авторизации пользователя позволяет разграничивать права пользователей. Пользователь «менеджер» обладает правами администратора. Ему доступна работа с турами и их каталогами, обновление клиентских данных, рассмотрение и контроль заявки клиента на

тур, ведение статистики по клиентам, сотрудникам и турам.

Основная задача пользователя «продавец-консультант» состоит в подборе туристического направления для клиента. Мобильное приложение предоставляет возможность ввода клиентских предпочтений, просмотра списка туров, смоделированного по критериям, а также описания и характеристик конкретного тура из списка. В случае положительного ответа клиента происходит оформление заявки на выбранный тур.

Мобильное приложение обеспечивает выполнение следующих функциональных задач:

- 1) ручной ввод сведений о турах, клиентах, их предпочтениях и сотрудниках;
- 2) проверка корректности заполнения полей;
- 3) редактирование внесенных данных;
- 4) формирование каталога туров;
- 5) вывод на экран сформированных отчетов и статистики;
- 6) настройка разграничения доступа пользователей;
- 7) многофункциональный поиск информации в базе данных.

Контроль качества разработанной базы данных проведен с использованием модели, предложенной А.А. Рыбановым, О.Ф. Абрамовой и др. [7].

Таким образом, на основе вышеуказанных требований диаграмма деятельности, разработанная с использованием CASE-технологий (см., например [8]), принимает следующий вид (рис. 1).

Так как пользователи мобильного приложения обладают средней и низкой квалификацией, пользовательский интерфейс разработан максимально простым, интуитивно понятным, приближенным к интерфейсам подобных мобильных приложений.

Проектирование элементов интерфейса происходит с учетом требований по стандартизации и унификации производителя операционной системы Android мобильных устройств – Google Inc. [9]. Результативные решения по разработке интерфейса приняты на основе реальной и адекватной оценки поведенческих факторов [10]. Ввод

информации осуществляется в наиболее унифицированных формах. Для упрощения интерпретации клиентских предпочтений определенные значения критериев имеют предустановленный список значений. Интерфейс мобильного приложения рассчитан на работу с использованием сенсорного экрана (рис. 2, 3).

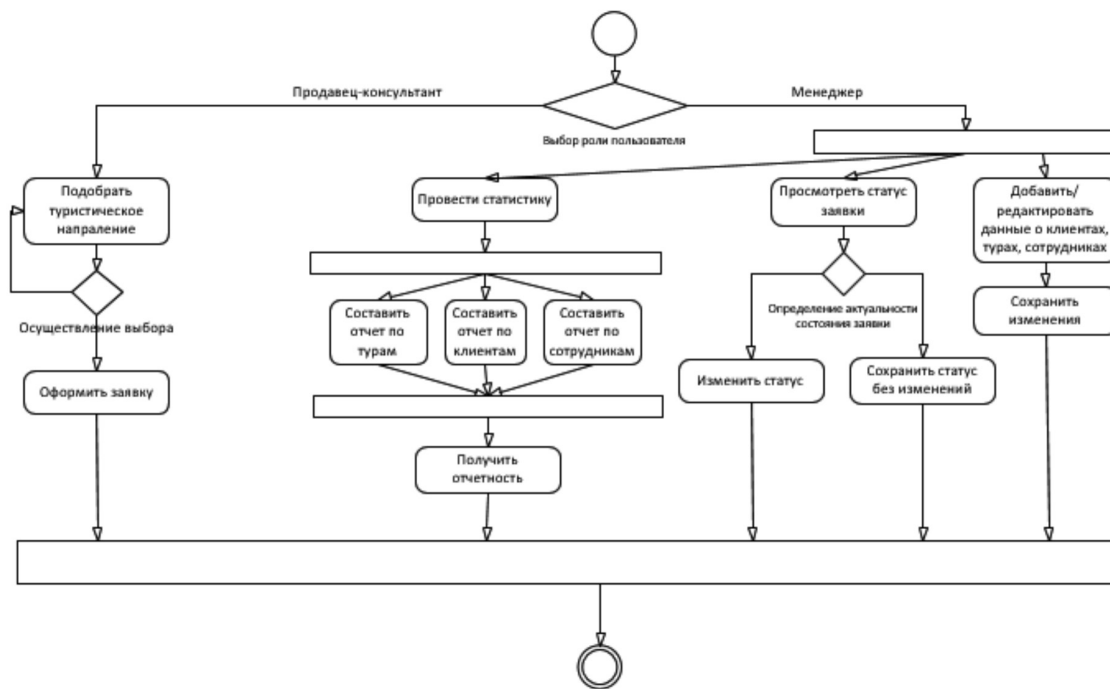


Рис. 1. Общая диаграмма деятельности

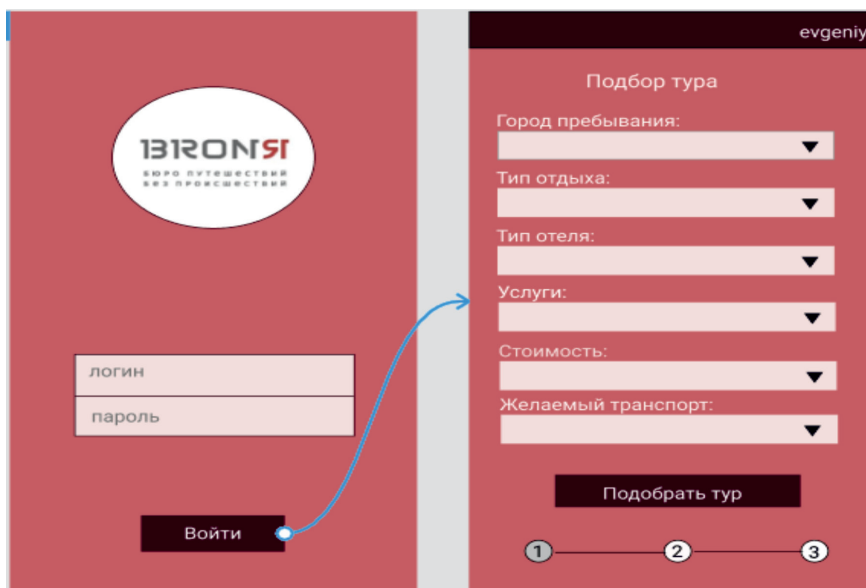


Рис. 2. Макет окна авторизации и раздела «Подбор тура»

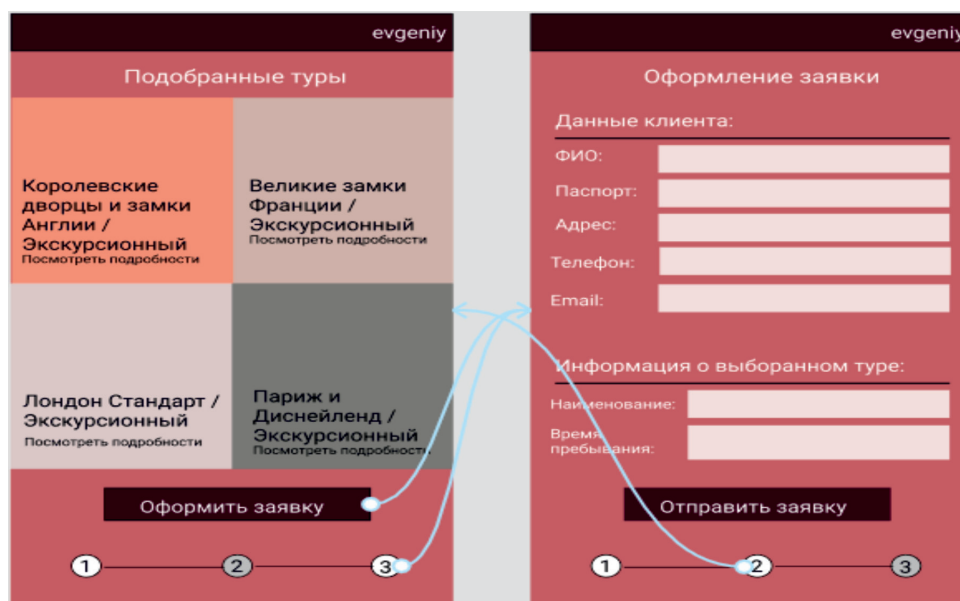


Рис. 3. Связь разделов «Оформление заявки» и «Подобранные туры»

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что данное мобильное приложение позволит автоматизировать информационно-аналитические процессы туристической компании «Броня», а также упростит процесс поиска релевантной информации, касающейся предметной области, по определенным критериям.

### Заключение

Назначение разрабатываемого ПО – автоматизация и ускорение информационно-аналитической деятельности в бизнес-процессах туристической фирмы «Броня». Реализация данного решения позволит создать единую централизованную базу данных для оперативного доступа к необходимой информации, упростить процедуры хранения и поиска, сократить количество затрат и ошибок, недопустимых в современном бизнесе.

### Список литературы

1. Аверченков В.И., Рошин С.М. Мониторинг и системный анализ информации в интернет: монография. 2-е изд., стереотип. М.: ФЛИНТЕ, 2011. 160 с.

2. Аверченков В.И., Вайнмаер Е.Е. Инновационный менеджмент: учеб. пособие для вузов. Брянск: БГТУ, 2004. 293 с.

3. Шокин Ю.И., Федотов А.М., Барахнин В.Б. Проблемы поиска информации. Новосибирск: Наука, 2010. 220 с.

4. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 272 с.

5. Дулин С.К., Киселев И.А. Структуризация знаний в системах мониторинга // Известия академии наук. Теория и системы управления. 1999. № 5. С. 28–33.

6. Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 470 с.

7. Абрамова О.Ф., Рыбанов А.А., Свиридова О.В., Короткова Н.Н., Лясин Д.Н. Модель оценки сложности физической схемы реляционной базы данных // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2019. № 3. 9 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5879> (дата обращения: 22.05.2020).

8. Абрамова О.Ф. CASE-технологии: изучать или исключить? // Alma mater (Вестник высшей школы). 2012. № 9. С. 109–110.

9. Куликов С.С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. Минск: Четыре четверти, 2017. 312 с.

10. Абрамова О.Ф. Визуализация паттерна поведения пользователя web-системы // Кибернетика и программирование. 2019. № 3. С. 43–52. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.3.23017. [Электронный ресурс]. URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=23017](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=23017) (дата обращения: 22.05.2020).

УДК 621.3.051.2

## К ВОПРОСУ О РАЗРУШЕНИИ ЛЕДЯНОЙ ОБОЛОЧКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Кульков В.Г., Фокин Р.А.

Волжский филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
Волжский, e-mail: vikulkov@yandex.ru

Образование гололеда на проводах линий электропередач значительно увеличивает их массу. Внешние атмосферные условия являются дополнительным вредным фактором воздействия на работоспособность и целостность конструкции линии. Рассматривается сущность такого природного явления, как обледенение проводов, затрагиваются вопросы, связанные с образованием корки льда и ее ростом. Приводятся сравнительные параметры увеличения массы проводов линии при различной степени обледенения. Обсуждаются различные следствия наличия ледяной оболочки на проводах. Она приводит к возникновению хаотических колебаний и вибраций проводов под воздействием ветра, взаимному замыканию их между собой. Наиболее разрушительным следствием обледенения является обрыв одного или нескольких проводов. Это приводит к потере работоспособности линии. Устранение аварий связано со значительными финансовыми и временными затратами. Рассматриваются существующие методы борьбы с явлением. В работе приводятся статистические сведения о количестве нарушений работоспособности линий на примере Волгоградской области. Обсуждается метод разрушения ледяной оболочки при помощи воздействия на провода силой Ампера. Делается оценка собственной частоты колебаний обледенелого провода. По участку линии протекает ток с частотой, близкой к резонансной. Для того чтобы уменьшить силу сцепления между металлом провода и льдом, по проводу пропускается ток высокой частоты. В результате происходит плавление тонкой оболочки льда.

**Ключевые слова:** линии электропередач, обледенение, аварийность, резонансная частота, поверхностный эффект

## TO THE QUESTION OF THE DESTRUCTION OF THE ICE SHELL OF OVERHEAD POWER LINES WIRES

Kulikov V.G., Fokin R.A.

Moscow Power Engineering Institute (MPEI), Volzhsky branch, Volzhsky, e-mail: vikulkov@yandex.ru

The formation of ice on the wires of power lines significantly increases their mass. External atmospheric conditions are an additional harmful factor affecting the performance and integrity of the line structure. The essence of such a natural phenomenon as icing of wires is considered, and issues related to the formation of an ice crust and its growth are discussed. Comparative parameters of increasing the mass of line wires at different degrees of icing are given. Various consequences of the presence of an ice shell on the wires are discussed. It leads to chaotic vibrations and vibrations of the wires under the influence of wind, and their mutual closure. The most destructive consequence of glaciation is the breakage of one or more wires. This causes the line to lose its functionality. Elimination of accidents is associated with significant financial and time costs. The existing methods of combating the phenomenon are considered. This paper provides statistical data on the number of line failures in the Volgograd region. The method of breaking the ice shell by applying an ampere force to the wires is discussed. The estimation of the natural frequency of vibrations of the iced wire is made. A current flows along a section of the line with a frequency close to the resonant one. In order to reduce the coupling force between the metal wire and the ice, a high-frequency current is passed through the wire. As a result, the thin ice shell melts.

**Keywords:** power lines, icing, accident rate, resonant frequency, surface effect

При обледенении проводов происходит снижение прочности, срока службы и безопасности ЛЭП, так как увеличивается их лобовое сопротивление ветру, что может привести к обрывам проводов и повреждению опор. Поэтому вопросы эффективной борьбы с явлением образования льда на проводах являются актуальными [1].

Под обледенением проводов необходимо понимать различные виды твердых осадков: мокрый снег, изморозь, гололед и их сочетания. Мокрый снег при температуре около 0 °С обладает большой липкостью, имеет массовую плотность 0,12–0,3 г/см<sup>3</sup>. Изморозь – это белый кристаллический непрозрачный осадок с плотностью 0,02–0,3 г/см<sup>3</sup>, образующийся при температуре -10 – -40 °С. Гололед – это твердый сплошной полупрозрачный осадок с плот-

ностью 0,6–0,9 г/см<sup>3</sup>, чаще образующийся при дождях и туманах. Толщина гололеда на проводах и грозозащитных тросах может достигать 60–70 мм, существенно их утяжеляя.

Часто для упрощения расчетов полная масса отложения гололеда на проводах представляется в виде полого цилиндра льда с одинаковой со всех сторон толщиной стенки. Например, провод марки АС-185/43 диаметром 19,6 мм километровой длины имеет массу 846 кг, при толщине гололеда 20 мм она увеличивается в 3,7 раза, при толщине 40 мм – в 9 раз, при толщине 60 мм – в 17 раз. При этом общая масса линии электропередачи из восьми проводов километровой длины возрастает соответственно до 25, 60 и 115 тонн, что приводит к обрыву проводов и поломке металлических опор [2].

Сущность явления обледенения – это осаждение с последующим замерзанием капель воды на поверхности проводов или налипание мокрого снега при скорости ветра, не превышающей 10–20 м/сек. Обледенение происходит с наветренной стороны проводов, если ветер перпендикулярен ЛЭП, и равномерно по всей длине, если ветер направлен параллельно проводу. В последнем случае гололед менее опасен для ЛЭП, так как имеет более пористую структуру и меньшую плотность.

Гололедно-изморозевые отложения откладываются по фазным проводам очень неравномерно, в результате чего расстояния в провесе проводов с гололедом и без гололеда отличаются на несколько метров.

Обледенение проводов вызывает так называемую пляску проводов, то есть хаотические их колебания с двумя степенями свободы, а также нарушение регулировки проводов и тросов, их обрыв, перекрытие линейной изоляции высоковольтной линии при таянии льда. Эти эффекты вызывают разрушение опор. Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб. Длительность их устранения составляет от нескольких часов до нескольких дней. Это требует определенных затрат. По статистике, в энергосистемах по причине гололеда происходит от 6 до 8 крупных аварий в год [3]. В таблице показано общее количество аварийных отключений за 2015–2019 гг. по данным ПАО «МРСК Юга» – «Волгоградэнерго», в том числе по причине гололедаообразования. Экономический ущерб по причине образования льда на проводах по тем же данным составил 130, 310 и 90 тыс. руб. за 2017, 2018 и 2019 гг. соответственно.

Целью настоящей работы является анализ существующих методов удаления льда с проводов, а также обоснование нового комбинированного метода.

#### Материалы и методы исследования

Борьба с обледенением проводов включает в себя комплекс средств. К ним нужно отнести механические, электротермические, физико-химические, термодинамические и электромеханические методы [4].

Простейший механический способ – это сбивание гололедных отложений с помощью длинных шестов с автовышек или земли. Данный способ применяется на не протяженных участках ЛЭП. Для применения данного способа могут использоваться шесты, длинные палки, веревки и другой подручный инструмент. При удалении гололедных отложений без отключения ВЛ необходимо применять шесты из стеклопластика, бакелита и других аналогичных изолирующих материалов.

К механическому способу можно отнести воздействие на отложения гололеда перемещающихся по проводам шнеков, использующих энергию постоянных магнитов, ветра или электромагнитного поля фазного тока ВЛ.

Электротермический способ заключается в предусмотренном заранее подогреве на 10–20 °С проводов ВЛ и непосредственной плавке обледенения на проводах путем нагрева ЛЭП до температуры 120–130 °С.

Физико-химический метод – это нанесение на провода специальных растворов, которые не позволяют каплям воды намерзать на проводах. Данный метод основан на получении покрытий с низкой адгезией к снегу, льду и всем водным средам. Для снижения адгезии используются супергидрофобные покрытия.

При электромеханическом способе удаление льда происходит при пропусках по проводам периодических импульсов тока, имеющих ударно-встряивающий характер, вызывая их колебания и разрушение обледенения при возникновении механического резонанса.

Интенсивность обледенения зависит как от высоты расположения проводов ВЛ, так и от диаметра провода ЛЭП. При увеличении высоты расположения провода увеличивается и толщина образовавшегося гололеда. При увеличении толщины провода уменьшается гололедная муфта и меньше закручивается провод.

Персонал, обслуживающий ЛЭП, в осенне-зимний период должен вести регулярные наблюдения за образованием опасных гололедно-изморозевых отложений и своевременно применять требуемые методы борьбы с ними.

Аварийность на объектах энергетики Волгоградской области

Осенне-зимний период, гг.	Кол-во аварийных отключений по причине гололедаообразования, шт.	Общее количество аварийных отключений, шт.	Доля аварийных отключений по причине гололеда от общего количества, %
2017	26	5680	0,45
2018	80	4751	1,68
2019	78	4500	1,73



Наблюдение за образованием гололеда производят по указанию диспетчера, получающего информацию от метеорологической станции, на специальных гололедных постах, которые ориентированы по розе ветров и расположены на значительном расстоянии от административных построек и жилых домов.

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. В качестве более эффективного метода борьбы с обледенением проводов предлагается комбинированный метод.

### Результаты исследования и их обсуждение

Метод разрушения ледяной оболочки провода линии заключается в последовательном или одновременном расплаве прилежащего к проводу слоя льда и встряхивании ледяной оболочки путем пропускания по параллельным проводам переменного тока определенной частоты с возникновением силы Ампера между ними. Реальная ситуация должна учитывать множество факторов, таких как неоднородность толщины льда вдоль и поперек провода, его рыхлую структуру, условия теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ледяной оболочки, движение границы раздела лед-вода при фазовом переходе, состояние окружающей среды и т.д. Остановимся на оценочном расчете времени пропускания высокочастотного тока до появления водяной прослойки и частоты тока встряхивания проводов.

1. Плавление тонкого слоя льда, непосредственно примыкающего к проводу, путем пропускания по нему тока высокой частоты. Известно, что на высоких частотах имеет место поверхностный эффект (скин-эффект). Он заключается в том, что высокочастотный ток вытесняется к поверхности провода так, что реально он протекает в некотором поверхностном слое с эффективной толщиной, зависящей от частоты. Поскольку эффективное сечение проводника уменьшается, его сопротивление растет. В результате оно может во много раз превышать величину, определяемую для постоянного тока. Отношение сопротивлений в этом случае равно

$$\frac{R}{R_0} = \frac{r_0 \sqrt{\omega \mu \gamma}}{2\sqrt{2}}, \quad (1)$$

где  $R$  и  $R_0$  – сопротивления переменному и постоянному току,  $r_0$  – радиус провода,  $\omega$  – частота,  $\mu$  – магнитная проницаемость материала провода,  $\gamma$  – его удельная проводимость.

Протекание высокочастотного тока с действующим значением  $I$  в течение времени  $\tau$  приводит к выделению джоулевой теплоты

$$Q = RI^2\tau. \quad (2)$$

Это количество теплоты идет на неоднородное нагревание ледяного покрытия, расплавление цилиндрического слоя толщины  $b$ , последующее нагревание образовавшейся водяной прослойки. Удельная теплоемкость льда и воды составляет величины соответственно  $2,1 \cdot 10^3$  и  $4,2 \cdot 10^3$  Дж/кг·К. Удельная теплота плавления льда равна  $3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг.

Количество энергии, необходимое для плавления ледяной прослойки можно определить по формуле

$$Q_1 = \lambda m_1, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления льда,  $m_1$  – масса расплавленной ледяной прослойки. Нагрев льда от начальной температуры окружающего воздуха ( $-30 - -10^\circ\text{C}$ ) до температуры плавления  $\Delta t_2$  требует количество энергии

$$Q_2 = Kmc_2\Delta t_2. \quad (4)$$

Здесь  $m$  – первоначальная масса ледяной оболочки,  $c_1$  – удельная теплоемкость льда,  $K \ll 1$  – коэффициент, учитывающий неравномерность радиального нагрева. Считаем, что температура внешней поверхности льда не изменяется. Количество энергии, необходимое для нагрева полученной воды, рассчитывается по аналогичной формуле с параметрами, характерными для воды.

Принимая во внимание соотношение величин энергии (3) и (4), можно пренебречь величинами (4) для водяной прослойки и ледяного панциря по сравнению с (3). Тогда затрата энергии на получение водяной прослойки и нагрев провода до температуры плавления льда составляет

$$Q = \pi \lambda \rho_2 l \left[ (r_0 + b)^2 - r_0^2 \right] + \pi r_0^2 l \rho_{me} c_{me} \Delta t_{me}, \quad (5)$$

где  $\rho_2$  – массовая плотность льда,  $l$  – длина провода, приближенно равная расстоянию между опорами,  $b$  – толщина водяной прослойки. Во втором слагаемом индексы величин означают, что они относятся к металлу проводов. Учитывая высокую теплопроводность металла, можно считать, что его нагрев также происходит от температуры окружающего воздуха до температуры водяной прослойки. Тогда  $\Delta t_{me} = \Delta t_2$ . Пренебрегая, подобно тому, как это было сделано выше, вторым слагаемым в (5), а также считая  $b \ll r_0$ , можно записать (5) в виде:

$$Q = 2\pi \lambda \rho_2 l r_0 b. \quad (6)$$

Подставляя  $R$  из (1) в (2) и приравнявая затем к (5) с учетом указанного приближения, получаем время пропускания высокочастотного тока.

$$\tau = \frac{2\sqrt{2}\pi l}{I^2 R_0 \sqrt{\omega \mu}} (2\lambda \rho_2 b + r_0 \rho_{me} c_{me} \Delta t_2). \quad (7)$$

Электрическое сопротивление провода постоянному току можно записать как

$$R_0 = \frac{l}{\pi r_0^2 \gamma}. \quad (8)$$

Подстановка этого выражения в (7) дает

$$\tau = \frac{2\pi^2 r_0^2}{I^2} \sqrt{\frac{2\gamma}{\omega \mu}} (2\lambda \rho_2 b + r_0 \rho_{me} c_{me} \Delta t_2). \quad (9)$$

Если воспользоваться приближением (6), то

$$\tau = \frac{4\pi^2 \lambda \rho_2 b r_0^2}{I^2} \sqrt{\frac{2\gamma}{\omega \mu}}. \quad (10)$$

2. Разрушение ледяного слоя путем пропускания по проводу низкочастотного тока резонансной частоты. Провод с ледяной оболочкой, расположенный между двумя соседними опорами линии электропередачи, подобен натянутой струне с закрепленными концами. Наименьшая собственная частота колебаний провода в этих условиях определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{l} \sqrt{\frac{T}{\rho'}}, \quad (11)$$

где  $T$  – сила натяжения провода,  $\rho'$  – эффективная линейная массовая плотность обледенелого провода с учетом водяной прослойки. Последнюю величину нетрудно найти:

$$\rho' = \pi \left( B^2 - (r_0 + b)^2 \right) \rho_2 + 2\pi b r_0 \rho_1 + \pi r_0^2 \rho_{me}. \quad (12)$$

Здесь  $B$  – внешний радиус ледяного цилиндра,  $\rho_1$  и  $\rho_{me}$  – массовая плотность воды и металла провода. С учетом соотношения  $b \ll r_0$  выражение (12) можно записать в виде

$$\rho' = \pi \left( B^2 \rho_2 + 2r_0 b (\rho_1 - \rho_2) + r_0^2 \rho_{me} \right). \quad (13)$$

Тогда частота подаваемого переменного тока для сбрасывания ледяной оболочки равна

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \left( \frac{T}{\pi l^2 \left( B^2 \rho_2 + 2r_0 b (\rho_1 - \rho_2) + r_0^2 \rho_{me} \right)} \right)^{1/2}. \quad (14)$$

Следует заметить, что теоретические оценки собственной частоты колебаний провода не могут быть произведены с приемлемой степенью точности. Дело в том, что толщина слоя льда не одинакова вдоль провода, кроме того, его форма не является цилиндрической. Колебания провода имеют составляющие в двух плоскостях, и на процесс оказывают значительное воздействие окружающие провод воздушные массы. В работе [5] предлагается вводить коэффициент, учитывающий изменение собственной частоты колебаний провода с намерзшим на нем льдом относительно собственной частоты колебаний провода безо льда. Согласно этой работе, расчетная величина такого коэффициента близка к единице. Более надежным является экспериментальное определение собственной частоты, которая зависит от параметров линии и может составлять 0,5–1 Гц.

Для того чтобы осуществлять эффективное воздействие на ледяную оболочку провода, рекомендуется использовать генератор с плавно изменяющейся частотой в пределах 0,2–3 Гц и подбирать частоту непосредственно на данном участке линии. При этом судить об эффективности воздействия можно визуальным.

Для возникновения резонансных колебаний необходимо замкнуть конец линии и по двум проводам образовавшегося контура, состоящего из двух параллельных проводников, пропустить достаточной величины ток с частотой, равной половине собственной частоты колебаний системы. В этом случае под действием силы Ампера, возникающей при взаимодействии противоположно направленных токов, провода будут отталкиваться с частотой в два раза большей частоты тока. Это происходит потому, что независимо от направления тока в одном из проводов в другом протекает ток противоположного направления, а значит, они всегда отталкиваются. Амплитуда силы взаимодействия токов на единицу длины равна

$$F_m = \frac{\mu_0 I^2}{\pi a}, \quad (15)$$

где  $a$  – расстояние между проводами,  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Предварительное оплавление прослойки льда существенно уменьшает его сцепление с металлом провода, что облегчает его последующее отделение после встряски. Кроме того, неравномерный прогрев нерасплавленной ледяной оболочки приводит к неоднородному напряженному состоянию с повышенной концентрацией механических напряжений вблизи внутренней его части. Это увеличивает вероятность зарождения внутренней трещины, благодаря которой инициируется разрушение ледяной оболочки при резонансных колебаниях проводов.

Разрушение ледяной оболочки проводов импульсным током описано в ряде работ, например в [5; 6]. В них предлагается пропускать импульсный ток, что приводит к резкому встряхиванию проводов. Использование синусоидального тока с предварительным или одновременным проплавлением прилегающего слоя является методом, при котором уменьшается вероятность обрыва провода импульсным воздействием силы.

#### Выводы

1. Гололедно-изморозевые отложения на проводах линий электропередач представляют серьезную опасность для их работоспособности и целостности.

2. Разрушение ледяной оболочки можно производить воздействием силы Ампера при пропускании электрического тока по проводам линии. При этом для уменьшения сцепления металла провода со льдом можно предварительно пропустить ток высокой частоты.

#### Список литературы

1. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 494 с.
2. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 794–823.
3. Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения. СПб.: СЗТУ, 2004. 184 с.
4. Фокин Р.А., Кульков В.Г. Проблема борьбы с обледенением линий электропередачи // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции (Камышин, 15 ноября 2019 г.) В 3 т.; Т. 1. Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2019. С. 153–156.
5. Сухоруков С.И., Соловьев В.А., Черный С.П., Савельев Д.О. К вопросу определения текущей частоты импульсов при удалении гололеда с проводов линий электропередач электродинамическим способом // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014. Т. 1. № 2. С. 10–12.
6. Сухоруков С.И., Орлов Д.А., Соловьев В.А., Козин В.М. Способ удаления гололеда с проводов линий электропередач // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 54–56.

## ОБЗОРЫ

УДК 004.5

## ГАДЖЕТЫ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Иванько А.Ф., Иванько М.А., Ибрагимов А.А.

*Московский политехнический университет, Москва, e-mail: alekfed@mail.ru, mihaleks@mail.ru, tima.kurkov7@mail.ru*

Использование смартфонов как устройств связи в обществе стало повсеместным, и оно, как никогда раньше, волнует многих ученых. Но пользование любыми смартфонами должно приносить пользу как в плане инноваций, так и в плане определенных благ, ведущих к процветанию общества в целом. Ученые в последнее время сулят развитие технологий смартфона, это и заметно по последним, постоянно обновляющимся моделям устройств. Необходимо постоянно сохранять современность смартфонов так, чтобы не только отвечать ожиданиям пользователей, но и направлять эту «современность» на развитие цивилизации. Основным направлением в этой статье было изучение данного устройства, которым пользуется достаточное количество людей, с целью разобраться в его влиянии на систему образования и разобраться в возможности использования девайса в дистанционном образовании, что именно помогает смартфону положительно влиять на образование людей. Для того чтобы изучить данный спектр современной науки, была исследована определенная литература, которая поможет сделать определенные выводы о том, что стремительное в последние десятилетия развитие гаджетов является фактором приобретения людьми некоторых знаний о технологиях. Более того, последние модели смартфонов, как показывают некоторые исследования, предстают перед нами главными элементами в уменьшении и в дальнейшем искоренении проблемы провала в знаниях, который в основном возникает в обществе из-за практического отсутствия знаний в области техники, а также выгоды, которую смартфон может приносить обществу.

**Ключевые слова:** смартфоны, развитие образования, инновационные технологии в дистанционном образовании, влияние телефонов, роль смартфонов

## GADGETS IN DISTANCE EDUCATION

Ivanko A.F., Ivanko M.A., Ibragimov A.A.

*Moscow Polytechnic University, Moscow, email: alekfed@mail.ru, mihaleks@mail.ru, tima.kurkov7@mail.ru*

The use of smartphones as communication devices in society has become ubiquitous, and it, as never before, excites many scientists. But the use of any smartphone should bring benefits, both in terms of innovation and in terms of certain benefits that lead to the prosperity of society as a whole. Scientists have recently promised the development of smartphone technologies, and this is noticeable in the latest, constantly updated models of devices. It is necessary to constantly preserve the modernity of smartphones, so as not only to meet the expectations of users, but also to direct this «modernity» to the development of civilization. The main focus of this article was to study this device, which is used by a sufficient number of people, in order to understand its impact on modern society, whether the smartphone affects us so well, and, perhaps, to see what exactly helps the smartphone to positively influence people. In order to study this spectrum of modern science, a certain literature has been studied, which will help to draw certain conclusions that the rapid development of gadgets in recent decades is a factor in the acquisition of some knowledge by people. Moreover, the latest models of smartphones, as shown by some studies, appear to us as the main elements in reducing and further eliminating the problem of the gap in knowledge, which mainly occurs in society due to the practical lack of knowledge in the field of technology, as well as the benefits that a smartphone can bring to society.

**Keywords:** smartphones, the development of education, innovative technologies in distance education, the impact of phones, the role of smartphones

Информационные технологии в последнее время проходят через все виды человеческой деятельности: учеба, бизнес, различные путешествия, общение в социальных сетях. Смартфоны – это самое удобное устройство, которое используется людьми для получения информации. От проводных телефонов до более продвинутых и навороченных устройств, таких как смартфоны, на протяжении этого времени технологии, не снижая темпа, все совершенствовались и совершенствовались, упростив людям общение между собой

(уменьшилось время передачи, и, в принципе, теперь, чтобы пообщаться, нужно просто достать телефон из кармана) [1]. Сейчас в маленьком телефоне может быть очень много функций, он может сочетать в себе и фотоаппарат, и видеокамеру, и лист бумаги, на котором можно рисовать. Спектр функций огромен. Смартфоны – это устройства, подобные телефонам, но в отличие от них имеют расширенные опции, выполняют более обширный диапазон запросов пользователя, нежели классические телефонные аппараты, к примеру осуществ-



вление простых телефонных переговоров либо отправление СМС. Они имеют более широкие возможности: показ видеорядов, пользование электронной почтой, производство фото [2]. Смартфоны изначально были предназначены для использования бизнесменами в своем деле из-за их стоимости и незнания, как ими пользоваться, но сегодня существует множество брендов смартфонов разного ценового спектра и различных вариантов моделей, в соответствии с предпочтениями людей. Сейчас смартфоны служат неким связывающим элементом между целевыми пользователями изделий. Также они могут использоваться для общения в разных областях деятельности. Смартфон похож на некий компьютер, только уменьшенную его копию, потому что в данной версии он работает практически как ПК и является портативным устройством для любых желаний пользователей [3]. Развитие технологии разработки смартфона особенно важно в наше время для правильного использования этих устройств нами – людьми. Мир, в котором и так всегда происходят перемены, можно улучшить путем использования полученных навыков и опыта в развитии. Прошлые исследования по данной тематике описывали технологию создания смартфонов без какого-либо обоснования главных условия, который удерживал на отличном уровне формирование новых телефонов и то, какая выгода будет, если рассматривать его как элемент для совершенствования людей.

### Цели исследования

1. Одна из целей статьи состоит в том, чтобы исследовать эту новую стратегию, которой владеют создатели смартфонов, и то, как хорошо это может влиять на общество, которое направлено на свое развитие.
2. Необходимо выяснить, используется ли смартфон в дистанционном образовании, и определить его влияние на данный формат обучения.
3. Показать, насколько за последние несколько лет были усовершенствованы смартфоны.

### Материалы и методы исследования

Для начала в этой статье будет рассмотрена история зарождения и развития смартфонных технологий и их поэтапное развитие до нынешних грандиозных масштабов, также нельзя не сказать про мастодонтов смартфонных технологий, таких как Samsung, Apple, которые, безусловно, посредством продаж своих продуктов влияют на развитие человеческого поколения.

Теория разрыва в знаниях тоже является предметом, который необходимо рассмотреть в этой статье. Также, обобщая некоторые исследования в данной области, рассмотрим, как именно новейшие технологии влияют на обычное образование и дистанционное образование.

### *Экскурс в историю смартфона*

С IBM Simon Personal Communicator и Nokia 9000 Communicator, в которые уже на тот момент, в девяностые, были встроены функции настоящих смартфонов, началась история современных смартфонов, идея которых, правда, зародилась еще в 70-х годах прошлого века. Но их все еще нельзя было называть смартфонами, хоть у них и имелись такие функции, как отправка электронной почты, факсов и т.п., более того, в некоторых моделях, выпускаемых в то время, уже была возможность выходить с них во Всемирную паутину. Далее с 2000 г. смартфоны развивались и развивались, включая все новые и новые функции в себя, но в 2007 г. произошла настоящая революция в данной сфере, так как компания Apple под руководством Стива Джобса выпустила по-настоящему революционную модель, ту модель, без которой мы сейчас вообще не представляем смартфон как таковой, у новенького iPhone полностью сенсорный экран [4]. Также данный смартфон на тот момент имел и другие функции, кроме сенсорного экрана, чем сейчас уже точно не удивить пользователей, в нем была возможность скачивать многочисленные приложения из Интернета, он обладал открытой ОС, интеграция датчиков – так называли данный смартфон некоторые научные исследования в данной области [5; 6]. Все знают, что сейчас смартфон есть, можно сказать, практически у каждого человека (может быть, даже не один такой гаджет), каждый может выйти в Интернет, провести, к примеру, прямую трансляцию, сделать видеозвонок, но в начале своего пути смартфон предназначался, в большинстве своем, для осуществления и поддержания бизнеса, соответственно им пользовались очень ограниченное число потенциальных пользователей. В общем, смартфон, все более развиваясь, стал очень продвинутой маленькой машинкой, которая помогает нам и облегчает наши жизни, но что можно сказать насчет полезности этого устройства, способно ли оно не только облегчать жизнь, но и нести пользу посредством этих облегчений, может ли человек добывать необходимую ему информацию в телефоне? Человек постоянно должен «питаться»



информацией, посредством использования смартфона это определенно выполнимо, но это должно происходить на перманентной основе. Из представлений и исследований некоторых ученых ясно, что данные технологии точно будут развиваться и дальше, у смартфонов каждые полтора года будут усложняться методы и схемы их сборки, включаться все новые и новые функции. Многие люди сейчас не представляют свои жизни без этого маленького устройства в своих руках, но если у человека нет определенной цели в использовании смартфона, да, он покупает его, но начинает неправильно использовать его уже с первых минут, что может привести к определенным негативным последствиям. Знания можно назвать силой человечества над другими формами жизни, соответственно, они являются силой любого существующего общества, знания постоянно дополняются, и если отдельно стоящее от других общество отстает от таких высоких стандартов, оно может потерять свою скорость развития и в конце концов развалиться и уйти в небытие [7]. Необходимо, чтобы скорость приобретения информации и улучшение смартфонов были синхронными. Гаджет должен стать для каждого человека основой, позволяющей быстрее соединиться с миром в поисках жизненно важной информации, которая может быть полезна для пополнения запаса знаний, а не информации, которая должна снижать уровень приобретаемых и приобретенных знаний, необходимых для общества. Некоторые ученые пытались взглянуть на разработку новых телефонов, и таким образом они предлагают некоторое ценное высказывание: слово «технология» включает в себя теоретические и практические навыки и вещи, которые могут быть использованы для разработки систем взаимодействия между машиной и человеком. Кроме того, смартфоны всегда были связаны с прогрессом общества, с улучшением его уровня жизни [8]. Получение знаний – это «длительный процесс обратной связи, его стабильность зависит от достоверности полученной информации». Кроме того, люди используют полезные знания, полученные для улучшения своей жизни [9]. Опять же, большая часть используемой сегодня информации находится в Интернете, и, конечно же, предполагается, что изначально будет исследован уровень знаний, приобретаемых обществом. И действительно, вышеупомянутые исследователи подошли к описанию технологии с разных точек зрения, но такой же целью является и рост знаний, связанный с каждым субъ-

ективным мнением. Это ли не является показателем, что любое общество должно понимать специфику любой используемой технологии? По сути, технологии разработки смартфонов управляют миром в настоящее время и будут продолжать так же сильно влиять на общество в далеком будущем. Очень важно, чтобы люди уделяли время новой ранее не существовавшей ветви получения знаний, а не последователям данных технологий, и каждое общество, независимо от его размеров, должно больше сосредоточиться на том, чтобы быть объективными пользователями, уменьшающими уровень социальной бедности и превращающими бедное общество в богатое и здоровое. Но есть большой вопрос, который все же следует задать. Он заключается в том, что интеллект в смартфонах параллельно растет с приобретением знаний или же это приведет к еще большему разрыву знаний в обществе. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть технологическую цель некоторых смартфонов, разработанных крупными игроками на рынке смартфонов. Видно, что у создания любых разработанных для технических коммуникаций гаджетов существует не только коммерческая цель, но и общая благая цель. Способность любого человека принять основную технологическую цель технической компании для начала такого развития облегчит нахождение нужной информации в его повседневной деятельности. Все большее и стремительное улучшение технологий создания смартфонов, а также увеличение количества и качества встроенных функций со стороны компаний-гигантов можно принять как гонку за большей прибылью и выгодным местом на рынке производителей. Соответственно, улучшая технологии, компании повышают цены на свои продукты, к слову, сейчас последние модели iPhone стоят более 100 тыс. рублей, это не нравится многим членам общества, что в итоге приводит к необъективности пользования устройствами данных компаний, люди просто начинают гонку за новенькими моделями, чтобы показать свое превосходство, естественно, не настоящее, над другими. Последние модели смартфонов имеют очень большой процент интеграции со стационарными компьютерами, так, например, выпуск iPhone в 2015 г. показал очень большой прогресс в данной области. Более того, была разработана специальная среда для того, чтобы улучшить и облегчить данную интеграцию, чтобы пользователи могли спокойно пользоваться компьютером через свои телефоны. Например,

акселерометр, позволяющий определять местоположение и движения человека, появился уже в Nokia 5500, а гироскоп, позволяющий определить движения своего владельца, появился в далеком уже 2007 г. в том самом iPhone первого поколения. Подобные функции появляются и обновляются все чаще, они являются интеллектуальными возможностями данных смартфонов, поэтому способствуют и все ускоряющемуся развитию общества. Инновационной стратегией сейчас обладают не многие компании, в большинстве ей владеют компании-мастодонты, такие как Apple, Xiaomi, Huawei и другие, данная стратегия и влияет на то, что компании создают все более сложные и навороченные устройства. Следовательно, именно поэтому данные компании, запустив эту стратегию уже очень давно, являются теми, кто создает больше всего этих умных устройств. Чтобы получить большую выгоду от использования смартфонов, то есть чтобы получение полезных знаний от его использования все больше и больше увеличивалось, необходимо, чтобы общество не теряло ту инновационную стратегию, которая это все обеспечивает. Её можно описать как «приверженность к ряду последовательных, взаимно использующихся стратегий и действий, направленных на достижение конкретной цели» [10]. Инновационная стратегия очень полезна, ведь она может, несомненно, повлиять на развитие нашего общества, но если она применяется в соответствии с используемыми технологиями, этого не было описано в определении выше, что делает его не очень полным. Доступность к новейшим умным гаджетам, например iPhone, iPad, Mac, является довольно высокой, но если в стране уровень жизни находится на нормальном уровне, сейчас даже в некоторых странах третьего мира гражданин может позволить себе купить данные гаджеты. Некоторые исследования показывают, что сейчас в развивающихся странах смартфоны в основном используются для общения в чатах, так как люди больше всего времени проводят как раз-таки в социальных сетях. Поэтому многие могут бездумно общаться с друзьями часами, а то и днями, не пополняя багаж своих знаний, что может влиять на развитие самого человека, а значит также влиять и на общество как систему. Но все же есть и положительные моменты, например студенты посредством общения в таких дружественных чатах могут обмениваться какой-либо полезной информацией, повышающей их уровень знаний. Поэтому можно сделать вывод, что использование

умных устройств не всегда приводит к разрыву в знаниях, это будет рассмотрено дальше.

#### *Описание теории разрыва в знаниях*

В 1970 г. учеными была представлена теория разрыва в знаниях. Предложенная теория отражала, как могут создаваться пробелы в знаниях людей и всего общества в зависимости от статуса человека и его семьи. Из этого следует, что люди богатые способны быстрее потреблять и усваивать все быстрее нарастающую информацию в Интернете и других средствах массовой информации, нежели чем бедные, из-за того что бедные редко могут себе позволить обеспечить вокруг себя некое информационное поле, страдает все общество в целом, из-за этого и возникает разрыв в знаниях во всем обществе. Исследователь, изучающий население Соединенных Штатов Америки в 2009 г., в своей работе пришел к выводу, что между людьми с высоким статусом и людьми с низким есть некоторое сходство. Сходство наблюдается в том, что если информация неинтересна людям, то они перестают отправлять поисковые запросы, то есть перестают искать информацию в принципе. Причинами может служить следующее:

- 1) у людей пропадает необходимость в поиске информации;
- 2) если люди сталкиваются с уже существующими знаниями, то им порой бывает сложно усваивать все больше и больше новой информации [11].

Казалось бы, развитие технологий и появление новых средств массовой информации должны были полностью устранить существующий разрыв в знаниях, но, к сожалению, все же расширили его. Сейчас пользователям ежедневно приходит тысячи и тысячи сообщений с абсолютно ненужной им информацией, что, конечно же, отвлекает их от поисков необходимой полезной информации, тем самым они могут еще и запомнить ненужные сообщения-пустышки [12]. Поиск необходимой информации начинается с какой-то личной мотивации пользователя, также на это могут повлиять индивидуальные качества человека и, может быть, даже уровень образованности. Используя доступные технологии смартфона, люди не всегда знают, как правильно пользоваться данным устройством, получая меньшее количество информации, человек не сможет выполнять правильные действия по отношению к обществу, что в свою очередь может привести к непоправимым процессам в обществе, которые могут разрушить его.

*Использование смартфона в роли инструмента обучения*

Как мы знаем, образование является двигателем любого развивающегося общества, образование развивает людей, делает их намного умнее и смысленнее, что приводит к совершенствованию общества, следовательно, повышению качества и уровня жизни населения планеты, устраняя многие проблемы общества. Образование так же необходимо, как и экономика, без него этой экономики, как и других сфер жизни, существовать попросту не будет, а если и будет, то в ужаснейшем состоянии. С появлением смартфонов, как было упомянуто выше, меняются все сферы деятельности и жизни человека, это не могло обойти и образование. Технологии определенно помогают людям наладить взаимодействия в изучении и обмене знаниями, учителя и ученики могут обмениваться нужной для них информацией, чтобы ускорить процесс образования. Во Всемирной паутине достаточно легко находятся учебные пособия для их дальнейшего изучения, что поддерживает в тоне обучения людей, поддерживая непрерывность образования. Существование виртуальных библиотек данных, конечно, может привести к отрицанию очных лекций, так как многим начинает казаться, что и там и там преподается один и тот же материал, который можно просто прочитать дома, не ходя в университет [13; 14]. Однако использование смартфона расслабляет человека и не напрягает его, поэтому некоторые тяжело воспринимаемые предметы могут усваиваться легче, чем при обычных лекциях, также нередко используемые интерактивные вставки делают процесс приобретения знаний гораздо интереснее. Навыков, получаемых от использования технологий, становится все больше и больше с течением времени. Смартфоны повышают навыки человека в использовании технологических приспособлений, что может выработать положительное отношение к технологиям в целом. Как мы знаем, пользователи могут быть разными, именно поэтому технологии способны подстраиваться под каждого из нас, человек может выставить предпочтительные только ему настройки своего гаджета, сделать так, чтобы ему удобнее было воспринимать и усваивать получаемую информацию. Благодаря смартфонам можно сделать очень многие вещи, в них можно устанавливать большое количество необходимого для работы или отдыха софта, делая свою жизнь немного удобнее [15]. Все технологии позволяют пользователям расширять свои знания в области своей профессии или учебы, обмениваясь

информацией, люди становятся более образованными и общительными.

*Использование смартфонов в дистанционном образовании*

Как уже говорилось выше, смартфоны имеют в себе достаточное количество функций, позволяют своим пользователям свободно работать, учиться и развлекаться, где бы они ни находились, поэтому данные устройства уже давно стали частью нашей жизни. Достаточно большое количество обучающихся в университетах студентов имеют совершенно новые модели смартфонов и уже даже являются большими профессионалами в их использовании, например в навигации при помощи GPS, использовании множества сервисов (Google Chrome, What's App), которые помогают в коммуникации и в осуществлении обучения, в том числе дистанционного. Все больше и больше людей подключаются к услугам мобильного интернета, именно поэтому использование сервисов возрастает очень быстро. Педагог Скотт П. Симкинс имеет свое мнение по поводу использования технологий в дистанционном образовании, он считает, что тут важнее не педагогика, а то, как инновации в педагогике используются в соответствии с той средой, где осуществляется обучение [16]. Сделать обучение более доступным для студентов, обеспечить их необходимыми электронными курсами, является главной целью дистанционного образования, а смартфоны, несомненно, могут помочь в этом. Благодаря встроенным функциям смартфоны могут обеспечить бесперебойный доступ к курсам дистанционного обучения, организованным в высшем учебном заведении, поэтому они так популярны среди студентов. Когда ученик может выбрать свой, более удобный для него вид устройства, дистанционное обучение по программам будет гораздо продуктивнее. В основном многие выбирают именно смартфоны, ведь они намного мобильнее, чем те же ноутбуки. С появлением в образовании смартфонов становится гораздо проще получить те навыки, которые необходимы студенту в будущем на его работе [17]. Дистанционное обучение, несомненно, с каждым годом становится все больше распространенным в мире способом получения знаний, и данные технологии порой ничуть не хуже традиционных видов обучения. Не показывая людям, что дистанционное обучение является вполне хорошим способом получения знаний, а также не обеспечивая людей необходимой техникой, можно сказать, что эффективность дистанционного образования отсутствует [18; 19]. Многие исследования



в данной сфере, где сравнивается дистанционная форма с традиционной, показывают, что результат обучения в дистанционном образовании зависит, прежде всего, от самодисциплины студента. Курсы дистанционного обучения успешны тогда, когда студент имеет мотивацию, подкрепленную тем, что он хочет удовлетворить свои потребности в получении знаний, а также достичь своих целей в этой сфере [20]. Поэтому руководство и преподаватели университета должны найти подход к ученикам, найти то устройство, которое больше всего обеспечивает мотивацию студента обучаться по образовательным программам. В последнее время в дистанционном образовании существуют не только курсы, но и видеоконференции. Многие исследователи считают, что общение преподавателя со студентами в формате вебинара добавляет в образование общение с преподавателем без присутствия при этом в аудитории, также данный формат может помочь студентам легче найти общий язык со своими коллегами [21]. Сейчас технологии развиты настолько, что даже с помощью смартфонов возможно присутствовать на видеоконференциях. Стационарные компьютеры и даже ноутбуки, хотя, казалось бы, они тоже довольно мобильные, все меньше и меньше используются и студентами, и преподавателями. Безусловно, преподаватели заинтересованы в обеспечении комфортного онлайн-обучения и для себя, и для студентов, тем самым они скачивают необходимый для этого софт, например Zoom, Webinar и др. – все это может обеспечить отличное соединение и занятие для всех. Так, с помощью данных сервисов можно и читать лекции, и проводить практические занятия, и даже сдавать дипломные и другие зачетные работы перед всей группой или потоком. Большинство студентов уже сейчас не хотят приобретать себе ноутбук, так как даже самые новые модели достаточно много, по крайней мере больше, чем смартфон. Именно поэтому ученики и приобретают смартфоны, ведь они являются сейчас полной заменой ПК. Сейчас большинство ПО, которое раньше было доступно только в десктоп-версии, переключивается в телефоны, например уже сейчас в Play Market или App Store можно бесплатно скачать и пользоваться программами из MS Office и практически с полным функционалом пользоваться ими. Для видеоконференций преподаватели и руководители, специализирующиеся на дистанционном образовании, преимущественно выбирают те приложения, которые возможно установить и на мобильные ОС. Смартфоны сейчас очень широко начинают использовать в дистанци-

онном образовании. Многие исследователи изучают данную сферу, введение смартфонов в дистанционное образование, оценивая вклад смартфонов [22–24]. Понятно, что мобильное оборудование в виде маленького устройства – смартфона, обеспечивает обучение в любое время и в любом месте, естественно, нужно только позаботиться о зарядке и выходе в Интернет, но это тоже не проблема в наши дни, ведь сейчас очень обширен сегмент мобильного интернета, а для зарядки смартфона можно использовать Power Bank. В некоторых исследованиях приводятся факты того, что преподаватели все больше сами используют КПК и остальные мобильные устройства в электронном образовании, также преподаватели записывают подкасты для своих студентов, тем самым предоставляя им возможность сохранить для себя данные записи, чтобы, например, подготовиться к экзамену или зачету. В дальнейшем ученики могут поддерживать обратную связь с преподавателем, используя при этом все также смартфон. Многие высшие учебные заведения сейчас имеют свои системы дистанционного образования, но если таковой нет, то есть множество других программ в Интернете. Такими системами можно также спокойно, а главное удобно пользоваться при помощи смартфона [25; 26]. Прежде не было упоминания о возможности сдавать экзамены через смартфоны, но в данный момент, из-за сложившейся сложной ситуации с пандемией, вузы вынуждены проводить и защиту дипломов, и обычные экзамены и зачеты дистанционно.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В исследовании изучалась важность развития, а самое главное, принятия технологий смартфонов всеми людьми, так как в основном данные технологии приносят больше пользы, чем вреда для людей. Гораздо лучше технологии влияют на образование, ведь именно в образовательных целях и нужно больше всего использовать данные технологии, обмен информацией через Сеть очень ускоряет процесс обучения человека. Была рассмотрена теория провала в знаниях, и ясно, что при уменьшении количества принимаемой информации в конце концов следует развал общества. Понятно, что в дистанционном образовании смартфон играет огромную роль, он существенно упрощает и жизнь студентов, и жизнь преподавательского состава, предоставляя им возможность не сидеть постоянно за ноутбуком или стационарным компьютером, и в любое время и в любом месте решать

свои проблемы по учебе. Смартфон – это, в принципе, очень хорошее подспорье человеку, которое, несомненно, упрощает и улучшает его жизнь в плане скорости работы, но и то устройство, которое может захватить все время человека, если, конечно же, он будет неправильно использовать гаджет.

### Список литературы

1. Klein E. Technology is changing how we live, but it needs to change how we work. Vox. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vox.com/a/new-economy-future/technology-productivity> (дата обращения: 09.05.2020).
2. Sarwar M., Soomro T.R. Impact of Smartphone's on society. European Journal of Scientific Research. 2013. no. 98. P. 216–226.
3. Rambitan V.M. The effect of smartphone on students' critical thinking skill in relation to the concept of biodiversity. Am. J. Edu. Res. 2015. no. 3. P. 243–249.
4. Martin T. The evolution of the smartphone. Pocketnow. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://pocketnow.com/the-evolution-of-the-smartphone> (дата обращения: 09.05.2020).
5. Miyashita Y. Evolution of mobile handsets and the impact of smartphones. InfoCom Research, Inc. 2012. P. 2–31. URL: [https://www.icr.co.jp/docs/Evolution\\_of\\_Mobile\\_Handsets\\_and\\_the\\_Impact\\_of\\_Smartphones.pdf](https://www.icr.co.jp/docs/Evolution_of_Mobile_Handsets_and_the_Impact_of_Smartphones.pdf) (дата обращения: 09.05.2020).
6. Campbell A., Choudhury T. From smart to cognitive phones. IEEE Pervasive Computing. 2012. no. 11. P. 7–11.
7. Braunerhjelm P. Entrepreneurship, innovation and economic growth past experiences, current knowledge and policy implications. Swedish Entrepreneurship Forum. 2010. P. 3–45.
8. Dolinsek S., Strukelj P. Technology, wealth and modern management of technology. Managing Global Transitions International Research Journal. 2012. no. 10. P. 29–49.
9. Pentzaropoulos G.C. New technologies, the Infoworld and the need for actionable knowledge. Electronic Journal for Philosophy. 2016. no. 22. P. 51–61.
10. Pisano G.P. You need an innovation strategy. Harvard Business Review. 2015. no. 93. P. 44–54.
11. Chen X. The influence of social media on knowledge gaps about science and technology among Chinese audiences. Graduate Thesis, Iowa State University, Iowa. 2013. P. 1–32.
12. Anaeto S.G., Onabajo O., Osifeso J.B. Models and Theories of Communication. African Renaissance Books Incorporated, Senegal. 2008.
13. Sanusi B.O., Adelabu O., Okunade J.K. Adapting social media for formal learning in Nigeria: Challenges and prospects. Arabian J. Bus. Manage. Rev. 2014. no. 3. P. 22–30.
14. Cifuentes O.E., Lents N.H. Increasing student-teacher interactions at an urban commuter campus through instant messaging and online office hours. Electron. J. Sci. Educ. 2011. no. 14. P. 1–13.
15. Bansal T., Joshi D. A study of students' experiences of mobile learning. Global J. Hum. Soc. Sci. 2014. no. 14. P. 26–30.
16. George S.B. Towards Innovative Pedagogy. The Hindu: Education Plus. 2014, January 20. P. 1–4.
17. Rajesh M. Revolution in Communication Technologies: Impact on Distance Education. Turkish Online Journal of Distance Education. 2015. vol. 1. no. 16. P. 62–88.
18. Tuncay N., Poyraz C. Distance Education from «Impossible» To Be «Possible». Journal of Educational and Instructional Studies in the World. 2013. vol. 2. no. 3. P. 143–154.
19. Tuncay N., Özncar M.D. Sanal Düşler ve Özel Gerçekler: Özel Eğitim Gerektiren Bireyler ve Uzaktan Eğitim, Anı Yayıncılık: Ankara. 2014. P. 3–23.
20. Goulimaris D. The Relation between Distance Education Students' Motivation and Satisfaction, Turkish Online Journal of Distance Education 2015. vol. 2. no. 16. P. 13–27.
21. Lim S., Cha S., Park C., Lee I., Kim J. Getting closer and experiencing together: Antecedents and consequences of psychological distance in social media enhanced real-time streaming video. Computers in Human Behaviour. 2012. vol. 4. no. 28. P. 1365–1378.
22. Nawi M.A.M., Jamsari E.A., Hamzah M.I., Sulaiman A., Umar A. The Impact of Globalization on Current Islamic Education. Australian Journal of Basic and Applied Science. 2012. vol. 8. no. 6. P. 74–78.
23. Shuib A.S. Reka Bentuk Kurikulum M-Pembelajaran Sekolah Menengah: Teknik Delphi; Proceedings of Regional Conference on Knowledge Integration in ICT. 2010. P. 652–665.
24. Nawi A., Hamzah M.I., Rahim A.A. Teachers Acceptance of Mobile Learning for Teaching and Learning in Islamic Education: A Preliminary Study, Turkish Online Journal of Distance Education. 2015. vol. 1. no. 16. P. 184–192.
25. Bell B. Theorising teaching in secondary classrooms: Understanding our practice from a sociocultural perspective. N.Y.: Routledge. 2011. P. 65–98.
26. Dianne Forbes & Elaine Khoo. Voice over distance: a case of podcasting for learning in online teacher education, Distance Education. 2015. vol. 3. no. 36. P. 335–350.