

*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
Подписной индекс по электронному каталогу
«Почта России» – ПА518*

*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 29.10.2019
Дата выхода номера 29.11.2019
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 29.10.2019
Release date 29.11.2019
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 ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2019/5
© 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: Н.Ю. Стукова
Editor in Chief: N.Yu. Stukova

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2019 г.



Редакционная коллегия

д.т.н., проф. Артюхов И.И. (Саратов), д.т.н., проф. Ахтулов А.Л. (Омск), д.т.н., проф. Бабаев Н.Х. (Бекабад, Узбекистан), д.т.н., проф. Белов В.В. (Чебоксары), д.т.н., проф. Бойченко О.В. (Симферополь), д.т.н., доцент Бормотов А.Н. (Пенза), д.т.н., проф. Бухтояров В.Ф. (Челябинск), д.т.н., проф. Васильев Ю.Э. (Москва), д.т.н., проф. Герман-Галкин С.Г. (Щецин, Польша), д.т.н., доцент Голоскоков К.П. (Санкт-Петербург), д.т.н., проф. Гусева А.И. (Москва), д.т.н., доцент Дубровин А.С. (Воронеж), д.т.н. Истомина Т.В. (Москва), д.т.н., проф. Козловский В.Н. (Самара), д.т.н., проф. Мещеряков В.Н. (Липецк), д.т.н., проф. Мурашкина Т.И. (Пенза), д.т.н., к.х.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск), д.т.н., проф. Сердобинцев Ю.П. (Волгоград), д.т.н., проф. Симонова Л.А. (Набережные Челны), д.т.н., проф. Скрыпник О.Н. (Иркутск), д.т.н., доцент Третьяк Л.Н. (Оренбург), д.т.н., проф. Тынчеров К.Т. (Октябрьский), д.т.н., проф. Укуев Б.Т. (Бишкек, Киргизия), д.т.н., проф. Цыганов В.В. (Москва), д.т.н., проф. Ченцов С.В. (Красноярск), д.т.н., проф. Щипицын А.Г. (Челябинск), д.т.н. Яворский В.В. (Караганда, Казахстан)

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

ОБОБЩЁННАЯ МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАТИМЫХ ГИДРОТУРБИН <i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Трутнев Д.С.</i>	5
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ИСКУССТВЕННО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ <i>Попов С.В.</i>	11
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗОЛОТНИКОВЫХ ПАР АГРЕГАТОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ <i>Червяков С.В., Столяров А.В.</i>	16
ОСОБЕННОСТИ ИСКАЖЕНИЯ СПЕКТРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИФРАКЦИИ НА ОТВЕРСТИЯХ <i>Борисенко А.Ю., Глуценко А.Г., Глуценко Е.П.</i>	21
ПРОБЛЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦЕНТРА ВНИМАНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ПОДСВЕТКИ <i>Исаева О.Л., Киселева Е.С., Бороненко М.П.</i>	26

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

THE GENERALIZED TECHNIQUE OF AUTOMATED DESIGN OF REVERSIBLE WATER-WHEELS <i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A., Trutnev D.S.</i>	5
INTELLECTUAL TRANSITIONS IN ARTIFICIALLY INTELLIGENT SYSTEMS <i>Popov S.V.</i>	11
THE USE OF METHODS OF INSTRUMENTAL CONTROL IN THE STUDY OF THE SLIDE VALVE STEAM OF AGGREGATES OF STEERING CONTROL <i>Chervyakov S.V., Stolyarov A.V.</i>	16
FEATURES OF DISTORTION OF THE SPECTRUM OF INFORMATION SIGNALS AT DIFFRACTION ON HOLES <i>Borisenko A.Yu., Glushchenko A.G., Glushchenko E.P.</i>	21
THE PROBLEM OF TRACKING THE CENTER OF ATTENTION BY OPTOELECTRONIC SYSTEMS WITHOUT THE USE OF INFRARED ILLUMINATION <i>Isaeva O.L., Kiseleva E.S., Boronenko M.P.</i>	26

СТАТЬИ

УДК 004.942:621.225

**ОБОБЩЁННАЯ МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАТИМЫХ ГИДРОТУРБИН****Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Трутнев Д.С.***Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru*

В начале данной статьи приведён обзор современных установок для покрытия разных частей нагрузки в электрических сетях, показано, что актуальной проблемой является создание новых, более совершенных установок, предназначенных для покрытия пиков нагрузки. Главной целью описанной работы являлась разработка обобщённой поэтапной методики автоматизированного проектирования таких установок – энергогенерирующих и энергоаккумулирующих, использующих преобразование потенциальной энергии воды, расположенной на разных высотных уровнях, в кинетическую, и наоборот – гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), созданных на основе так называемых обратимых гидромашин, которые могут работать как в качестве турбины, так и в качестве насоса. Приведённая методика создана путём анализа наиболее передовых методов проектирования гидромашин, позволившего предложить новый метод проектирования, начиная с определения исходных данных, заканчивая профилированием рабочего колеса и созданием трёхмерной модели гидромашин. Показана и доказана важность и перспективность использования разработанной методики проектирования, так как она позволяет добиться качественного повышения показателей обратимых гидромашин и ускорения процесса их разработки. Упрощение процесса проектирования гидроаккумулирующих электростанций должно привести к их большему распространению и в конечном итоге к повышению качества работы энергосистем путём оптимизации перераспределения электрической мощности в течение суток. Это должно также существенно повысить и экономические показатели российских электрических сетей. В результате проведённых исследований предложены направления проведения дальнейших исследований и способы совершенствования конструкций и процессов в отрасли проектирования и строительства гидроаккумулирующих электростанций.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, гидроаккумулирующая электростанция, обратимая гидромашинка, пиковая нагрузка, профилирование рабочего колеса, радиально-осевая гидротурбина

**THE GENERALIZED TECHNIQUE OF AUTOMATED DESIGN
OF REVERSIBLE WATER-WHEELS****Ilichev V.Yu., Yurik E.A., Trutnev D.S.***Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru*

At the beginning of this article the review of modern plants for a covering of different parts of loading is provided in electrical networks, it is shown that a current problem is creation of the new, more perfect units intended for a covering of peaks of loading. A main goal of the described work was development of the generalized, stage-by-stage technique of automated design of such installations – the energy-generating and power heat-sink, using transformation of potential energy of the water located at the different high-rise levels in kinetic and vice versa – the pumped storage power plants created on the basis of so-called reversible hydromachines which can work both as the turbine, and as the pump. The given technique is created by the analysis of the most advanced design methods of hydromachines which allowed to offer a new design method since definition of basic data, finishing with profiling of the driving wheel and creation of three-dimensional model of the hydromachine. Importance, relevance and prospects of use of the developed design technique as it allows to achieve high-quality increase in indicators of reversible hydromachines and acceleration of process of their development is shown and proved. Simplification of a designing process of pumped storage power plants has to lead to their bigger distribution and finally to improvement of quality of work of power supply systems by optimization of redistribution of electric power within a day. It has to raise also significantly and economic indicators of the Russian electrical networks. As a result of the conducted researches the directions of carrying out further researches and ways of improvement of designs and processes in the industry of design and construction of pumped storage power plants are offered.

Keywords: automated design, pumped storage power plant, reversible hydromachine, peak loading, profiling of the driving wheel, radial-axial water-wheel

График нагрузки в современных электрических сетях имеет сильную неравномерность, и поэтому важной задачей является покрытие кратковременных, но значительных по мощности пиков нагрузки. В энергетике все электростанции принято делить на базовые, полупиковые и пиковые. Базовыми называют энергетические

установки, работающие под нагрузкой 6000 и более часов в год, полупиковые работают 2000–6000 ч/год, а пиковые 500–2000 ч/год.

Так как основная часть электрической нагрузки покрывается базовыми электростанциями, на них должны устанавливаться паровые турбины большой мощности, обладающие наибольшим КПД именно при вы-

работке номинальной мощности. Порядок и принципы проектирования таких турбоустановок достаточно хорошо разработаны и успешно применяются на практике.

Для покрытия пиковой части электрической нагрузки используется большое количество разнообразных энергоустановок и способов:

1) кратковременная перегрузка паротурбинных установок (за счёт изменения температуры и давления пара перед турбиной, отключения системы регенеративного подогрева питательной воды и т.д.);

2) использование гидравлических, дизельных, газопоршневых, газотурбинных энергетических установок, характеризующихся хорошими маневренными качествами;

3) преобразование механической энергии в энергию давления или в тепловую энергию, например путём сжатия воздуха, используемого затем в газотурбинных установках, нагрева воды в теплоаккумуляторах и др. [1].

Использование гидроаккумулирующих электростанций является одним из наиболее современных, совершенных и экономичных способов покрытия переменной части нагрузки в электросетях. При минимальных нагрузках в сети избыточная вырабатываемая энергоустановкой мощность расходуется на перекачивание воды из нижнего водохранилища в верхнее, а при максимальных нагрузках вода из верхнего водохранилища проходит через энергоагрегат в нижнее, вырабатывая мощность [2]. Оба режима работы осуществляются так называемыми обратимыми гидротурбинами, которые могут работать и в качестве насоса, и в качестве турбины.

Проектирование обратимых гидромашин является сложным и до сих пор не формализованным и не автоматизированным процессом. При их проектировании необходимо добиваться:

- уменьшения гидравлических потерь в рабочем колесе и в отводящей трубе;
- уменьшения возможности кавитации в гидротурбине для увеличения развиваемой ей мощности;
- уменьшения нестационарности потока за счёт оптимизации профилирования рабочего колеса [3].

К настоящему времени не существует обобщённой общедоступной методики поэтапного проектирования обратимых гидромашин, начиная с определения состава исходных данных до разработки конструкции всех элементов гидромашин, в том числе профилирования рабочего колеса. Есть лишь основные рекомендации по проектированию гидроаккумулирующих турбин, которые приведены в [4], и методы подбора гидромашин из уже существующих,

созданных предприятиями на основании накопленного ими опыта. Целью данной работы является разработка такой обобщённой методики с целью её применения разработчиками для создания гидромашин, обладающих лучшими эксплуатационными и экономическими характеристиками по сравнению с существующими.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных для автоматизированного проектирования используются напор воды (высота между верхним и нижним бьефами) и мощность гидротурбины [5].

Вначале осуществляется подбор модельной гидротурбины-прототипа [6]. Для обеспечения максимального КПД и заданного значения мощности турбины выбирается диаметр её рабочего колеса и частота вращения. При этом стараются также максимально уменьшить габариты энергетической установки.

В процессе выбора турбины-прототипа используются характеристики гидротурбин, наглядно изображающие связь их мощности, напора, расхода и КПД [7].

Блок-схема программы, разработанной для реализации описанного процесса оптимизации, приведена на рис. 1.

После выбора прототипа турбины необходимо спрофилировать её рабочее колесо.

Профилирование колеса турбины состоит из следующих этапов:

- 1) изображение крайних обводов колеса;
- 2) изображение линий изгиба профилей в выбранных сечениях;
- 3) изображение объёмных моделей лопаточных профилей.

На первом этапе проектирования рабочего колеса турбины при помощи системы автоматизированного проектирования (например, AutoCAD, КОМПАС) разрабатывается форма крайних обводов колеса (периферийного и втулочного), которая в наибольшей мере определяет коэффициент потерь энергии при работе гидротурбины.

Профилирование обводов рабочего колеса наиболее удобно формировать, используя кривые Безье [8]. Кривые Безье описываются с помощью несложных формул и их построение легко автоматизируется.

Пример профилирования меридиональных обводов рабочего колеса (РК), произведённого авторами, приведён на рис. 2.

Для построения крайних обводов профиля лопаток необходимы следующие параметры, которые берутся с турбины-прототипа: наружный диаметр колеса на входе D_1 , втулочный, средний и внутренний диаметры на выходе из РК $D_{2вт}$, $D_{2сп}$, $D_{2к}$, ширина колеса B и высота лопатки на входе b_1 . Эти

размеры позволяют найти опорные точки для кривых Безье, формирующих втулочный и периферийный обводы.

Затем, также с помощью кривых Безье, проводится построение средних линий профилей в выбранных промежуточных сечениях лопатки по высоте.

На рис. 3 приводится пример спрофилированного по приведенному алгоритму меридионального профиля проточной части радиально-осевой турбины.

По полученным средним линиям в системах трёхмерного твердотельного моделирования (Ansys, SolidWorks и пр.) строятся профили лопаток рабочего колеса (рис. 4).

После осуществления профилирования рабочего колеса вокруг него необходимо сформировать все остальные элементы конструкции турбины, указанные на рис. 5.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, разработана методика поэтапного проектирования обратимых гидромашин, формализующая этот процесс и позволяющая существенно его упростить и ускорить. При этом достигаются оптимальные параметры работы гидромашин и обеспечение описанных в техническом задании характеристик.

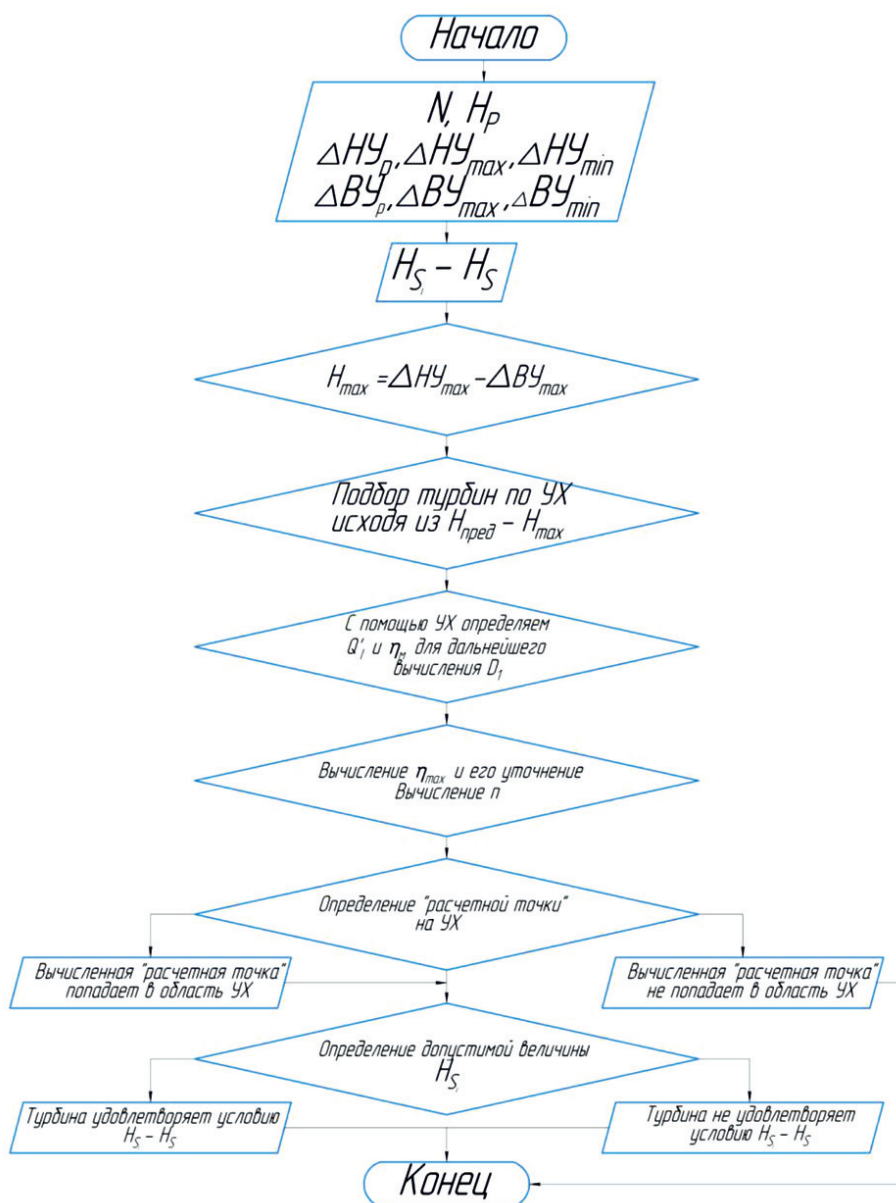


Рис. 1. Блок-схема программы для выбора модельной гидротурбины

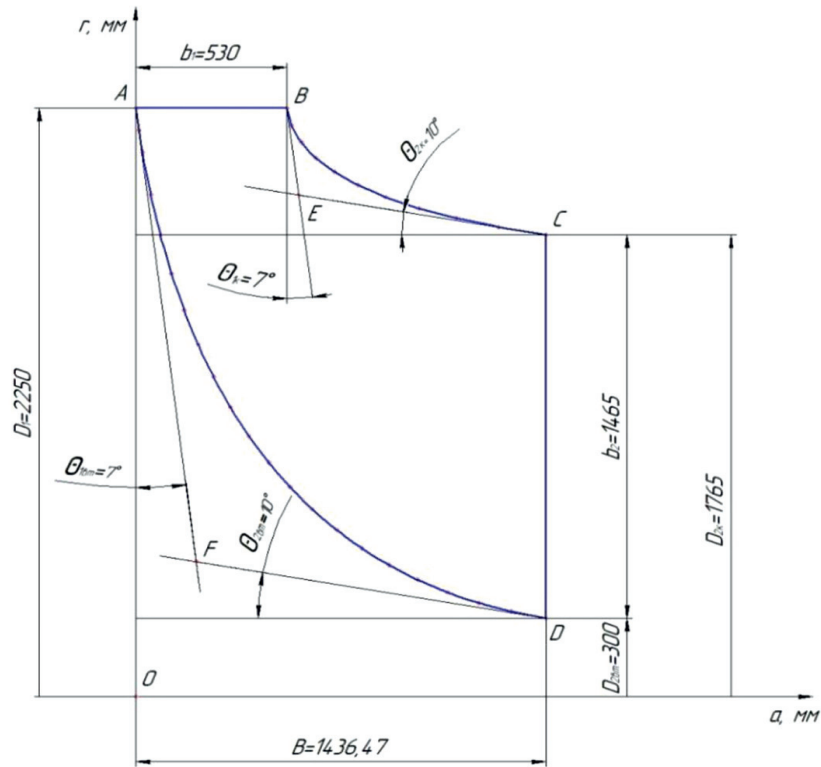


Рис. 2. Профилирование рабочего колеса гидротурбины с помощью кривых Безье

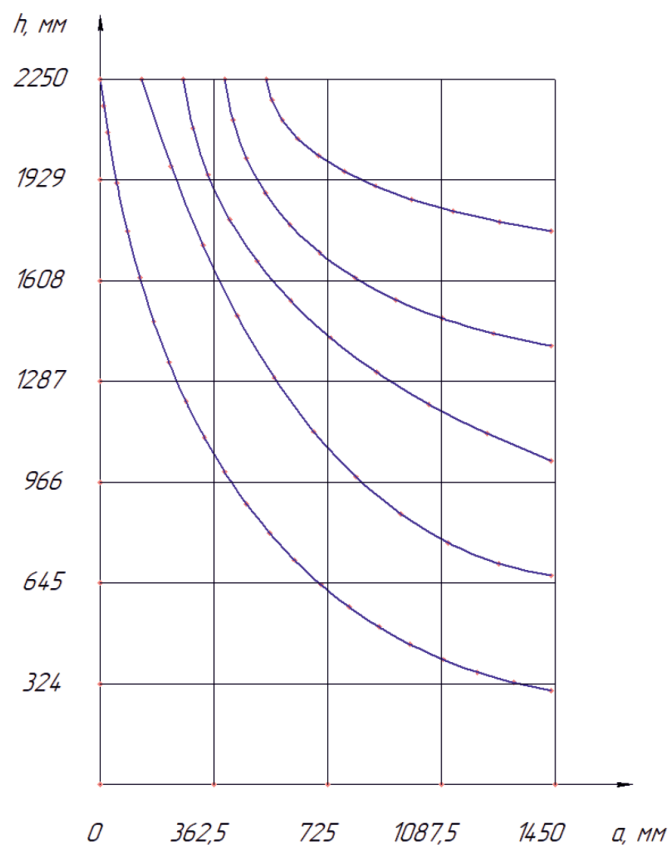


Рис. 3. Спроектированный меридиональный профиль рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины

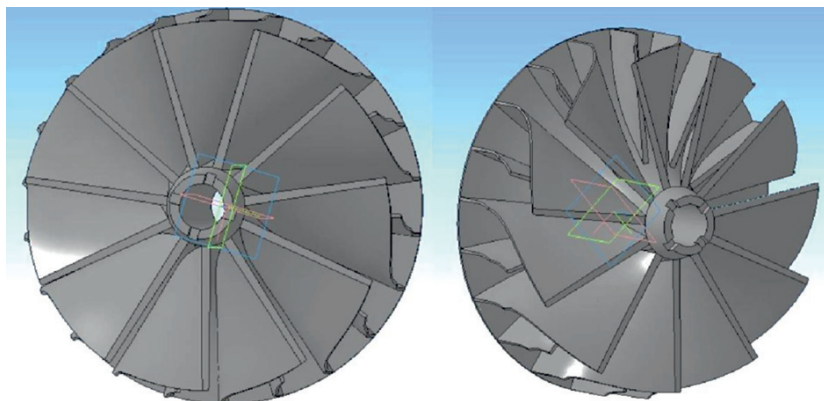


Рис. 4. Спроектированное рабочее колесо радиально-осевой турбины

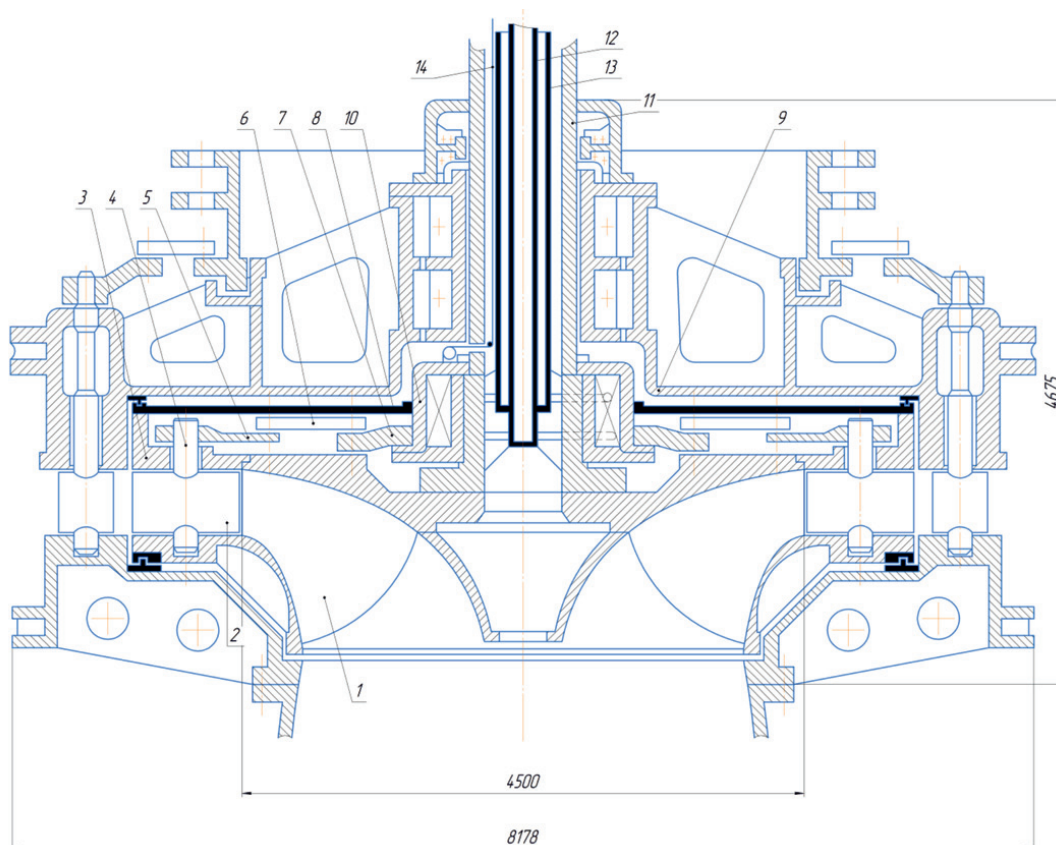


Рис. 5. 1 – неподвижные лопасти, 2 – поворотные лопасти, 3 – цапфа, 4 – верхний обод рабочего колеса, 5 – кривошип, 6 – серьга, 7 – регулирующее колесо, 8 – диафрагма, 9 – крышка, 10 – крыльчатый сервомотор, 11 – полый вал, 12, 13 – коаксиальные маслоотводы, 14 – обратная связь системы регулирования

Упрощение процесса проектирования гидроаккумулирующих электростанций должно привести к их большему распространению и в конечном итоге к повышению качества работы энергосистем путём оптимизации перераспределения электрической мощности в течение суток.

Заключение

Цель данной работы выполнена – произведён обзор и анализ современных методов бесперебойного обеспечения потребителей электроэнергией и создана обобщённая методика автоматизирован-

ного проектирования обратимых гидромашин. Предлагаются следующие направления отработки методов проектирования обратимых гидромашин:

– дальнейшая автоматизация расчётов путём полного перевода методики в программный код;

– верификация результатов проектирования путём проведения численных и натурных экспериментов и на базе этого оптимизация самого метода проектирования.

Список литературы

1. Беспалько С.А., Йовченко А.В. Техническая термодинамика. Практикум. Методические указания к практическим работам. Черкассы: ЧДТУ, 2009. 53 с.

2. Зысин Л.В., Сергеев В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Часть 1. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. 133 с.

3. Силовые машины. Проектирование и исследование гидротурбин. [Электронный ресурс]. URL: <http://power-m.ru/customers/hydropower/turbines/> (дата обращения: 22.09.2019).

4. СО 153-34.20.161-2003 Рекомендации по проектированию технологической части гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 104 с.

5. ВНТП 41-85 Нормы технологического проектирования гидроэлектрических и гидроаккумулирующих электростанций. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293794/4293794474.htm> (дата обращения: 22.09.2019).

6. ГОСТ Р 55260.4.1-2013 Гидроэлектростанции. Часть 4–1. Технологическая часть гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2015. 76 с.

7. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции (16–18 апреля 2019 г.) Т. 2. Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. С. 4–8.

8. Батулин О.В. Профилирование рабочих колес радиально-осевых турбин с помощью кривых Безье // Вестник СГАУ. 2011. № 3–3. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/profilirovanie-rabochih-koles-radialno-osevyh-turbin-s-pomoschyu-krivyh-bezie> (дата обращения: 22.09.2019).

УДК 004.08

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ИСКУССТВЕННО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Попов С.В.

ООО «Научно-внедренческая фирма БП+», Москва, e-mail: s-v-popov@yandex.ru

Рассматривается процесс формирования новых знаний в искусственно интеллектуальных системах, адаптирующихся к неопределенности предметной области (ПО). В связи с этим перечисляются основные формы информации: декларативная, операционная и фактическая, используемые для описания ПО в системах искусственного интеллекта. Между ними устанавливаются соотношения, касающиеся, с одной стороны, выразительности при описании ПО, и с другой – использования при решении задач. Основное требование формирования поведения систем в условиях неопределенности состоит в использовании только той информации, которая выводится из условия задачи и описания ПО. То есть система полностью предоставлена самой себе и ее приспособление к среде определяется без внесения извне новых принципов функционирования. Примером выступает игра «Крестики-нолики», для которой выводятся различные стратегии, основываясь лишь на правилах игры. Рассматривается несколько стратегий, исходными данными для которых является статистика выигрышных и проигрышных партий. То есть исходно возможность программы состоит в совершении правильных ходов и подсчета их в выигранных/проигранных партиях. Стратегия, основанная на выборе статистически выигрышных ходов, приводит к тому, что программа выигрывает чаще. Далее стратегия, основанная на статистике выигрышей/проигрышей, уточняется за счет установления корреляции между выигрышными шагами и числом свободных линий. Термин линии присутствует в условии задачи и не является внешним. Поэтому можно считать, что программа сама переходит к новой стратегии, т.е. осуществляет интеллектуальный переход, основываясь лишь на правилах игры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, формирование знаний, декларативная информация, операционная информация, фактическая информация, стратегия поведения

INTELLECTUAL TRANSITIONS IN ARTIFICIALLY INTELLIGENT SYSTEMS

Popov S.V.

LLC «Nauchno-vnedrencheskaya firma BP+», Moscow, e-mail: s-v-popov@yandex.ru

The problem of formation of new knowledge in artificially intelligent systems that adapt to the uncertainty of the subject area (PO) is considered. In this regard, the main forms of information are listed: declarative, operational and actual, used to describe the software in artificial intelligence systems. Establish relation, concerning, on the one hand, the expressiveness in the description, and on the other – use when solving problems. The main requirement for the formation of the behavior of systems under uncertainty is to use only the information that is derived from the conditions of the problem and the description of the software. That is, the system is completely left to itself and its adaptation to the environment is determined without introducing new principles of functioning from the outside. An example is the game TIC-TAC-toe, which displays a variety of strategies based only on the rules of the game. We consider several strategies, the initial data for which is the statistics of winning and losing games. I. e. initially, the possibility of the program consists in making the right moves and counting them in the won/lost games. Strategy based on the selection of statistically winning moves, leads to the fact that the program wins more often. Further, the strategy based on the statistics of wins/losses is refined by establishing a correlation between the winning steps and the number of free lines. The term line is present in the problem condition and is not external. Therefore, we can assume that the program itself is moving to a new strategy, i.e. carries out an intellectual transition, based only on the rules of the game.

Keywords: artificial intelligence, knowledge formation, declarative information, operational information, factual information, behavior strategy

В связи с потребностью использования автоматов там, где раньше работал лишь человек, Искусственный Интеллект (ИИ) перешел от теоретизирования в практическую плоскость. ИИ лишь начал формироваться как отдельная научная отрасль, традиционно это было объединение нескольких различных теоретических и прикладных областей, таких как математика, логики, механика [1–3]. Поэтому сейчас ИИ находится в состоянии методологической неопределенности, так как используемые в ИИ термины, традиционно понимаемые на содержательном уровне, требуют конструктивного уточнения. Например, обучение, знание, по-

нимание, обобщение, интеллектуальная деятельность и т.п. широко используют применительно к поведению автоматов, однако на самом деле это суть ярлыки, которыми снабжаются некоторые формально определенные функции программ. И сейчас необходимо уточнить, когда можно действительно говорить о проявлении интеллекта, а не о тех или иных математических, логических и пр. задачах. Исходя из этого, в статье автор описывает, что происходит реально, когда интеллект, независимо от того, искусственный он или естественный, решает те или иные задачи. Это предполагает следующие этапы осознания этой проблемы.

1. Необходимо рассмотреть, какие типы информации встречаются при описании той или иной предметной области и каким целям они служат.

2. Следует понять соотношения, существующие между этими представлениями.

3. Подлежит выделить информационные преобразования, которые с большой достоверностью можно признать интеллектуальными.

4. Наконец, следует предложить формальный аппарат для описания этих преобразований.

Исходя из этого, цель статьи состоит в том, чтобы на примере продемонстрировать, когда можно говорить об интеллектуальном акте и какие условия для этого необходимы.

Декларативная информация. При описании предметной области (ПО) используются три вида информации: декларативная, операционная и фактическая. Под декларативным представлением обычно понимают совокупность утверждений и фактов, имеющих место в данной ПО. При этом подразумевается, что они выступают в качестве утверждений или данных, используемых впоследствии для построения умозаключений. Сама логическая система обычно подразумевается, например это могут быть общепринятые положения («здравый смысл»), специально оговоренная логическая система: пропозициональное исчисление, исчисление первого порядка, модальная логика или прикладное исчисление, учитывающее особенности ПО и т.п. В результате содержательная информация является аксиоматикой ПО, все элементы и закономерности последней выводятся в качестве следствий из описания. Декларативное представление близко к содержательному изложению, с которым повседневно имеет дело субъект. Можно говорить, что декларативная информация в такой ее трактовке является знаниями о ПО. Ее отличительная черта – относительная компактность, в связи с тем, что главным инструментом получения новых данных о ПО служит логический аппарат. Именно использование логики, как универсального механизма формирования новых знаний, позволяет формулировать декларативное описание ПО компактно, что впоследствии при иных формах информации имеет более громоздкое выражение. Тем не менее компактное описание ПО позволяет строить сложные умозаключения в силу того, что логическая система может обладать полнотой.

Операционная информация. Под операционным представлением понимается совокупность тех или иных алгоритмов, по-

зволяющих путем вычисления породить все элементы ПО. Эти алгоритмы базируются на утверждениях и фактах декларативного описания. В результате каждый элемент ПО получается на заключительном шаге соответствующего вычисления. Говоря об операционном представлении, необходимо различать алгоритм и определяемое им вычисление. Алгоритм представлен формальной конструкцией, например блок-схемой, переписываемыми правилами или описанием классов, если речь идет об объектно-ориентированном программировании. Соответствующее вычисление представляет собой последовательность шагов, переводящих вычислитель в новые состояния. Сам алгоритм может быть компактным, однако определяемые им вычисления – достаточно сложными.

Связь между вычислениями и декларативным описанием выглядит следующим образом. Во-первых, вычисление можно представить как вывод в логическом исчислении, если каждый его элементарный шаг сопоставить с логическим правилом. В результате каждый элемент ПО, полученный как заключительное значение вычисления, можно трактовать как логическое следование из декларативного описания ПО. В вычислении правила вывода приобретают вид процедур, генерирующих новые данные. Таким образом, вычисления суть выводы, полученные из фактов и утверждений декларативного описания. С другой стороны, вычисления можно представить в логических терминах, например, в виде бинарной программы, описывающей единичные означивания логической формулы в расширенном базисе. Упомянутая формула представляет функцию, вычисляемую программой.

Можно увидеть аналогию между операционным представлением, которое ориентируется на получение конкретного результата в ситуациях массового характера, и умениями и навыками, приобретаемыми субъектом в результате работы в конкретной ПО. После того, как им выделены типичные навыки, использование всего декларативного описания ПО становится излишним. Типичным операционным представлением ПО служат программы, которые направлены на решение конкретных задач, хотя и носят универсальный характер в рамках спецификаций этих задач. То есть каждая программа получает корректный результат при любых допустимых входных данных. Это может быть вычисление траектории, но не вообще, а лишь того тела, которое удовлетворяет условиям среды, в которой оно перемещается.

Таким образом, вычисления можно рассматривать как выводы прикладного исчисления или бинарные программы, перечисляющие все допустимые вычисления программ. Главное, что вычисления суть производные от умений и навыков, формируемых при исследовании ПО.

Фактическая информация. Под фактическим представлением ПО понимается множество ее элементов без указания как они получены. То есть фактическая информация не ссылается ни на декларативное, ни на операционное описание ПО, это просто множество примеров, полученных экспериментально, выведенных из утверждений декларативного представления или полученных в результате операционного представления. Фактическая информация для ПО может представлять собой как конечное, так и бесконечное множество. Например, совокупность всех следствий из конечного числа посылок с n различными переменными в пропозициональном исчислении конечна, если наложить условие, что каждое следствие имеет те же n переменных. С другой стороны, модель прикладного исчисления может быть бесконечной и представлять фактические данные, описывающие прикладное исчисление.

Итак, мы перечислили виды информации, служащей для описания ПО, основываясь на отношении к логическим исчислениям: декларативное представление – это аксиоматика ПО, операционное – выводы, а фактическое – совокупность атомарных следствий. Все эти типы представления используются искусственно интеллектуальными системами в случаях адаптивного поведения. В связи с таким разделением естественен вопрос о соотношении сложности описаний в различных терминах. Это соотношение будем определять, сравнивая с декларативным описанием ПО. Иными словами, мы берем за основу аксиоматику прикладного исчисления, которое описывает ПО. Одна и та же ПО может представляться разными прикладными исчислениями, однако все они должны быть эквиваленты, т.е. обладать совпадающими моделями.

Сложность представления информации. Как правило, декларативное представление более экономно по сравнению с операционным и фактическим, так как подразумевает использование логического исчисления. При этом фактические данные, как правило, получаются в результате экспериментов (обучения) и для интерпретации не подразумевают логического аппарата. Для их понимания необходимо знание понятийного базиса, в котором они описываются. Таким образом, возникает естественная задача – насколько

усложняет описание ПО отсутствие логического аппарата. Например, по конечному набору посылок можно получить множество следствий, мощность которого не менее экспоненты от числа посылок. Для графа с n узлами можно построить базис, состоящий из максимальных пустых подграфов, и число таких базисов не менее экспоненты от n . Для логической функции можно построить функциональную схему, сложность которой есть экспонента от числа переменных. Если подразумевать полноту описания ПО фактическими данными, то это влечет перебор большого числа атомарных единиц описания. И сложность такого описания существенно выше, чем сложность декларативного и операционного представления.

Возникновение различных видов представления информации. При исследовании новой ПО обычно вначале происходит накопление новых фактических данных, которые непосредственно связаны с решаемой задачей. Этот процесс, как правило, называется обучением, им сопровождается практически любая деятельность субъекта или объекта, который впоследствии должен принимать самостоятельные решения в этой ПО. Сбор фактов сам по себе не требует привлечения глубоких внешних знаний, надо лишь констатировать те или иные явления. Происходит простое накопление фактов, описывающихся в некотором простом понятийном базисе.

Следующий этап – обобщение, влечет возникновение новых понятий и соотношений, которые отсутствовали в фактическом описании. И это приводит к переходу к другому типу описания ПО – декларативному или операционному. Обобщение есть интеллектуальный акт, так как в результате формируется новая терминология, которая отсутствовала на этапе сбора фактов, и новые соотношения. Обобщение приводит к появлению новой декларативной информации, описывающей соотношения между объектами ПО, или операционной – представляющей новые умения и навыки, отсутствующие до этого момента. У субъекта обобщение есть результат озарения, когда он догадывается ввести новое понятие, которое по-новому представляет ПО, по сравнению с тем, что получено на стадии обучения. В формальных системах, которыми являются программы, механизм обобщения необходимо предварительно установить соотношения между фактами, выраженными в одном понятийном базисе, и иным представлением, выраженным декларативно или операционно в ином понятийном базисе. То есть в программе, способной к обобщению, дол-

жен быть априорно заложен механизм озарения или инсайта и указано направление, в котором это озарение проявится при определенном стечении обстоятельств. Один способ такого программируемого озарения состоит в анализе условия решаемой задачи и выделении в ней тех понятий, в которых можно по-новому представить фактические данные. Обучение программы подразумевает, что в нее заложена возможность представлять данные, выраженные в одной понятийной системе, в других терминах. Но это только возможность без указания, какие конкретно новые соотношения должны быть получены. В этом состоит проявление автономного интеллекта, когда программа обладает лишь потенциалом к формированию новых закономерностей без указания, каких конкретно. Только тогда программа будет способна к обобщению, связанному с формированием новых понятий, дополняющих понятийную базу фактического представления.

Таким образом, можно заключить, что эволюционное обучение интеллектуальной программы начинается со сбора фактической информации, затем формируются новые умения и навыки путем перехода к новой понятийной базе. В результате программа будет обладать новой стратегией принятия решений в неопределенной ситуации. Тем самым просматривается первый этап перехода, который можно назвать интеллектуальным, так как в данном случае происходит выбор между различными способами обобщения фактических данных при формировании новой понятийной базы.

Сейчас мы остановимся лишь на формировании операционной семантики ПО, так как декларативная семантика, с одной стороны, требует еще одного уровня обобщения, а с другой – из практических соображений. Современные робототехнические системы в настоящее время подразумеваются как деятельные механизмы, а не как размышляющие субъекты. Именно поэтому мы исследуем умения и навыки, которые могут приобрести программы в результате эволюции. Для этого рассмотрим пример эволюционирования стратегии поведения программы игры в крестики-нолики.

Пример обучения программы игре в крестики-нолики. Автор поставил перед собой задачу эволюционного обучения программы игре в крестики-нолики, не используя внешние данные, которые нельзя получить кроме как из формулировки задачи и экспериментов.

1. На первом этапе был осуществлен сбор фактических данных – статистика шагов, чаще приводящих к выигрышу или проигрышу партии. Было проиграно

несколько партий, каждая из которых завершалась выигрышем или проигрышем первого игрока (компьютера). Для каждого шага из конкретной позиции собиралась статистика, т.е. сколько партий, в которые входит этот шаг, закончились выигрышем и сколько проигрышем. Для каждого игрока получилось две таблицы, одна содержала статистику положительных исходов, другая – отрицательных. Эта статистика дает хорошее представление об удачном дебюте, но не позволяет создать однозначно выигрышную стратегию. Статистически, выбирая только наиболее выгодные шаги для первого игрока, можно получить выигрыш в большинстве случаев, если оба игрока придерживаются наиболее выгодных шагов, то статистически происходит ничья. В случае, если первый игрок использует такую статистически выигрышную стратегию и играет с человеком, то человек достаточно легко выигрывает. То есть статистически выигрышная стратегия не является абсолютно выигрышной и поэтому требует уточнения. Обязательным условием такого уточнения служит, что запрещено вносить какие-либо знания, которые не выводятся непосредственно из фактических данных и условия игры. То есть программа должна получить новую стратегию логически обоснованную на известных данных.

2. Поэтому следующим этапом формирования абсолютной выигрышной стратегии является уточнение выигрышной стратегии для финала, так как именно в финале часто встречаются невыгодные для программы шаги. С этой целью уточняется статистика так называемых предвыигрышных шагов, т.е. если из некоторой позиции возможен выигрышный ход, то остальные шаги из нее не берутся во внимание, хотя они могут иметь положительную выигрышную статистику. Такое уточнение стратегии не привлекает для своей формулировки каких-либо внешних знаний, кроме условия задачи. Полученная в результате стратегия уже оказывается абсолютно выигрышной, однако ее недостатком является то, что программа в конце партии не всегда выбирает наиболее рациональные шаги, часто сводя партию вничью в случаях, когда ее можно выиграть. Строго говоря, и эта стратегия не выходит из множества статистических, она основывается на статистике выигрышных и проигрышных ходов.

3. На следующем этапе статистика связывается с понятием, которое используется в спецификации игры, но пока не встречалось. Это понятие линии, под которой здесь понимается вертикаль, горизонталь или диагональ из трех клеток. Исходно задача фор-

мулируется в том числе и в терминах линий, и поэтому это понятие не новое. Однако, на первый взгляд, между статистикой и линией связи нет. Но это только на первый взгляд. При более тщательном анализе оказывается, что статистически более выгодные ходы характеризуются тем, что занимают больше свободных линий, чем ходы, обладающие худшей выигрышной статистикой. Под свободной для первого игрока линией понимается такая, в которой отсутствует знак, поставленный вторым игроком. Аналогично определяется свободная линия для второго игрока. Так, если для первого игрока (программы) имеются два хода $p \rightarrow p_1$ и $p \rightarrow p_2$ со статистиками соответственно s_1 и s_2 , где $s_1 < s_2$, то второй ход покрывает не меньше свободных линий, чем первый. Тем самым статистически выигрышная стратегия приобретает уже иную формулировку в терминах свободных линий. Следует отметить, что термин свободная линия не привнесен извне, он является составной частью спецификации задачи. Отсюда следует формулировка новой стратегии, которая является модификацией статистической: надо использовать те ходы, которые приводят к занятию большего числа свободных линий. То есть мы уходим от статистической формулировки стратегии и приходим к формулировке в иных терминах. Это возможно сделать лишь установив корреляцию между статистикой ходов и числом занимаемых свободных линий. Понятно, что такая возможность вычисления корреляции в формулировке задачи не заложена, ее необходимо заложить в программу, быть может, наряду с другими механизмами, позволяющими увидеть связь различных понятий при описании ПО. В этом и состоит, как представляется, основная проблема ИИ на современном этапе: какие механизмы обобщения надо априорно закладывать в программу,

что апостериорно они позволяли формулировать стратегии поведения в новых терминах, отличных от тех, которые используются на этапе сбора фактической информации.

Выводы

Показано, как эволюционирует стратегия, начавшись со статистически выигрышной, основанной на фактических данных этапа обучения. Затем статистика уточнялась исключением «глупых» шагов, и, наконец, устанавливалась корреляция между статистически выигрышными ходами и числом свободных линий на игровом поле. Статистика определялась на этапе обучения сбором фактических данных и их классификации, термин свободные линии принадлежит формулировке задачи. И для перехода от одной стратегии к другой программе предоставлена возможность устанавливать соотношение между понятийными базисами. В этом состоит интеллектуальный переход в искусственно интеллектуальных системах – возможностью воспользоваться заложенными в них ресурсами совершенствования [4, 5]. Как показывает опыт, на существующем этапе развития ИИ без такой возможности программа эволюционировать не будет.

Список литературы

1. Тьюринг А. Может ли машина мыслить. М.: Ленанд, Едиториал УРСС, 2016. 128 с.
2. Рапопорт Г.Н., Герц А.Г. Биологический и искусственный разум. Часть 4. Восприятие внешнего мира индивидуальными носителями интеллекта. М.: Ленанд, 2015. 184 с.
3. Рутковский Лешек Методы и технологии искусственного интеллекта. М.: Горячая линия Телеком, 2012. 520 с.
4. Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции. На пути к теории эволюционного происхождения мышления. М.: Ленанд, 2015. 256 с.
5. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2012. 336 с.

УДК 53.082.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗОЛОТНИКОВЫХ ПАР АГРЕГАТОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Червяков С.В., Столяров А.В.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: cabto@mail.ru

Гидроусилитель рулевого управления является одним из агрегатов автомобиля, от которого зависит безопасность при его движении. Основной парк грузовых автомобилей составляют автомобили марки КамАЗ, которые движутся с транспортной скоростью 60 км/ч и выше. Рулевое управление автомобилей является одним из наиболее ответственных механизмов, от которого зависит безопасность движения и поддержание исправного технического состояния агрегатов систем рулевого управления автомобилей является актуальной задачей. Основным ресурсолимитирующим соединением гидроусилителя рулевого управления является сопряжение «золотник – корпус» распределителя. Для исследования причин износов исследуемых деталей на данный момент можно применять как традиционные методы исследования (например, микрометричные измерения), так и инструментальные (к ним относятся исследования на современном оборудовании для оценки состояния поверхности детали). Проведение таких исследований на приборе для определения круглости «Taylor Hobson» марки Talyrond серия 130 позволило определить наиболее изношенные участки сопрягаемых поверхностей для исследуемых деталей. Анализ результатов измерений показал что этими поверхностями оказались кромки поясков золотника и корпуса распределителя. Полученные данные позволяют рассчитать необходимый слой нанесенного металлопокрытия, которое позволит полностью компенсировать его износы.

Ключевые слова: гидроусилитель рулевого управления, износ, золотник, распределитель, измерение

THE USE OF METHODS OF INSTRUMENTAL CONTROL IN THE STUDY OF THE SLIDE VALVE STEAM OF AGGREGATES OF STEERING CONTROL

Chervyakov S.V., Stolyarov A.V.

National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: cabto@mail.ru

Power steering is one of the units of the car on which depends the safety of its movement. The main fleet of trucks are KAMAZ trucks, which move with a transport speed of 60 km/h and above. Maintaining the technical condition of the units of steering systems of cars is an urgent task. The main resource-limiting connection of the power steering is the coupling «spool-distributor housing». To study the causes of wear at the moment, you can use both traditional methods (micrometric studies) and instrumental (modern equipment for assessing the state of the surface of the part). Conducting research on the device for determining the roundness of the «Taylor Hobson» brand Talyrond series 130 allowed to determine the most worn areas in the test mate. They turned out to be the edge of the collar of the valve and distributor housing. The obtained data allow us to calculate the required layer of the applied metal coating, which will fully compensate for its wear.

Keywords: power steering, wear, spool, distributor, measurement

Рулевое управление – это механизм для изменения направления движения. Он является одним из наиболее ответственных механизмов, от которого зависит безопасность движения. В ходе проведенного анализа было выяснено, что из 100% ДТП, произошедших в результате плохого технического состояния автомобилей, на механизм рулевого управления приходится 13%.

В данный момент основной парк грузовых автомобилей страны составляют автомобили марки КамАЗ. Они используются в различных сферах деятельности: грузоперевозки, строительство, сельское хозяйство и пр. Одной из главных составных частей системы рулевого управления автомобилей КамАЗ является гидроусилитель рулевого управления (ГУР). Наиболее часто отказы системы в целом происходят из-за отказа гидроусилителя. Необходимо особое внимание уделять повышению на-

дежности компонентов гидросистем [1]. В результате износа основных частей ГУР происходит повышение усилия на рулевом колесе, заклинивание агрегата, повышенный люфт. Все это приводит к аварийным ситуациям при движении транспорта, что чревато человеческими жертвами. Поэтому большое внимание необходимо уделять техническому состоянию систем рулевого управления автомобилей.

Проведенными ранее исследованиями [2] установлено, что золотниковая пара является одним из ресурсолимитирующих соединений рулевого механизма автомобиля КамАЗ. Коэффициент повторяемости дефектов данного соединения при отказе ГУР составляет 1,00. Поэтому можно утверждать, что техническое состояние ГУР в целом определяется состоянием золотниковой пары.

В современном ремонтном производстве, когда точность изготовления агрегатов

высока, а их стоимость постоянно повышается (в особенности это относится к импортным комплектующим), применение современных инструментальных методов и оборудования является необходимым условием качественного и быстрого ремонта. Это позволяет с высокой точностью определить причины отказов тех или иных деталей, а также четко выстроить структуру ремонтных воздействий [3]. Поэтому целью работы стало определение величин износов распределительной пары ГУР инструментальным методом, для грамотного расчета припусков на механическую обработку.

Материалы и методы исследования

С целью определения величины износа золотника и корпуса распределителя золотниковой пары был разработан алгоритм исследований, включающий микрометраж-

ные измерения и исследование поверхности при помощи прибора для измерения отклонений от круглости английской фирмы «Taylor Hobson» марки Talyrond серия 130. В частности, проводились измерения поясков золотника и корпуса распределителя с целью определения наиболее изношенных участков (рис. 1).

Прибор для измерения отклонения от круглости позволяет проводить измерения следующих показателей: круглости, концентричности, эксцентриситета, угла эксцентриситета, плоскостности, перпендикулярности, соосности, гармонического анализа, углы наклона профиля, отклонение от дуги и прочее. Общий вид прибора показан на рис. 2.

В табл. 1 указаны его технические характеристики, в табл. 2 характеристики измерительного датчика.



Рис. 1. Места износов поясков корпуса и золотника

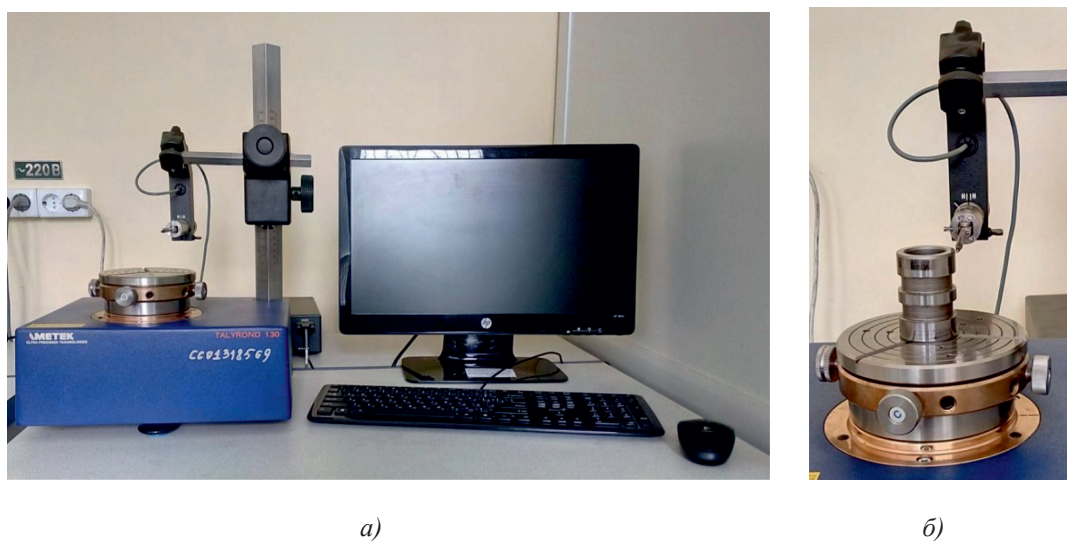


Рис. 2. Общий вид Talyrond серии 130 (а) и измерение поясков золотника (б)

Прибор позволяет осуществить математическую обработку результатов измерений следующими методами:

- алгоритмическая фильтрация фильтрами Гаусса и 2RC с фазовой коррекцией;
- аппроксимирующих окружностей по методу наименьших;
- окружностей минимальной зоны, вписанной и описанной окружностей;
- расчет максимального отклонения профиля.

Таблица 1
Технические характеристики
Talygond серии 130

Показатель	Значение
Диаметр стола	125 мм
Максимальный вес детали	12 кг
Максимальный диаметр измер. детали	200 мм
Максимальная высота измер. детали	200 мм
Скорость вращения	6 об/мин по часовой стрелке
Диапазон ручного центрирования	+/- 1,25 мм
Диапазон ручной нивелировки	+/- 30 мин
Высота нейтральной плоскости над поверхностью стола	51 мм
Осевая погрешность	0,025 мкм

Таблица 2
Технические характеристики
измерительного датчика

Показатель	Значение
Длина стандартного щупа	100 мм
Радиус щупа	1,24 мм
Диапазон измерения 100 мм щупом	2,0 мм
Диапазон нормального режима разрешения	+/- 1,0 мм
Разрешение	0,060 мкм
Диапазон высокоразрешающего режима	+/- 0,2 мм
Разрешение	0,012 мкм

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе измерения поясков золотника и корпуса распределителя были получены следующие диаграммы: 1 – пояска, 2 – корпуса распределителя ГУР.

Проведенные измерения показали, что износ поясков корпуса распределителя происходит неравномерно. Диаграмма износов, представленная на рис. 4, показывает, что отверстие в ходе работы приобретает форму вытянутого овала, при этом одна из его поверхностей (на рисунке она располагается в верхней части распределителя) имеет микронеровности значительно большие,

чем на противоположной стороне. В то же время износ поясков золотника (рис. 3) происходит более равномерно (отсутствуют изменения формы, микронеровности на поверхностях меньше, чем у поясков корпуса). Далее были проведены дополнительные измерения поясков на разной высоте (0,2; 0,5; 1; 1,5 мм от края с обеих сторон), они позволили сделать следующий вывод: наиболее изношенными участками на золотниках и корпусе распределителя являются их кромки. Эти части деталей наиболее плотно взаимодействуют в ходе работы друг с другом и основным потоком рабочей жидкости. Поэтому можно сделать вывод, что ведущим износом золотниковой пары является износ рабочих кромок поясков золотника и корпуса распределителя. Максимальный износ кромок по диаметру составляет $U_k^{\max} = 125$ мкм, а по ширине 0,2–1,0 мм.

На основе проведенных измерений была сформирована картина возникающих износов на поверхности поясков в районе кромок золотника и распределителя, в результате их сопоставления друг с другом мы получили форму контакта в паре: она имеет вид кольцевой щели (рис. 5). На начальном этапе работы пары зазор соответствует номинальным значениям, однако в процессе работы через данный зазор жидкость начинает перетекать в дренаж, соответственно, частицы износа, которые переносятся вместе с потоком, вызывают гидроабразивный износ на кромках и в конечном итоге при продолжительной работе исследуемой пары происходит увеличение зазора между кромками (рис. 5), это приводит к повышению утечек рабочей жидкости в дренажную полость. В результате объём жидкости, поступающий от насоса в распределитель, становится недостаточным и усилие поворота рулевого колеса значительно повышается и приходится производить замену распределительной пары, или ее ремонт.

В работе [3] были приведены технологические рекомендации по ремонту рулевых механизмов автомобилей КамАЗ, в них предлагается производить восстановление деталей соединений: поршень-рейка – картер, поворотный вал сошки – втулка корпуса, поршень-рейка – винт, а также распределительной пары. Для последней ремонт предлагается проводить со снятием слоя металлопокрытия с корпуса и нанесением нового слоя на золотник. Для определения толщины наносимого на поверхность золотника металлопокрытия с целью компенсации износа слоев нами использовались полученные диаграммы износов.

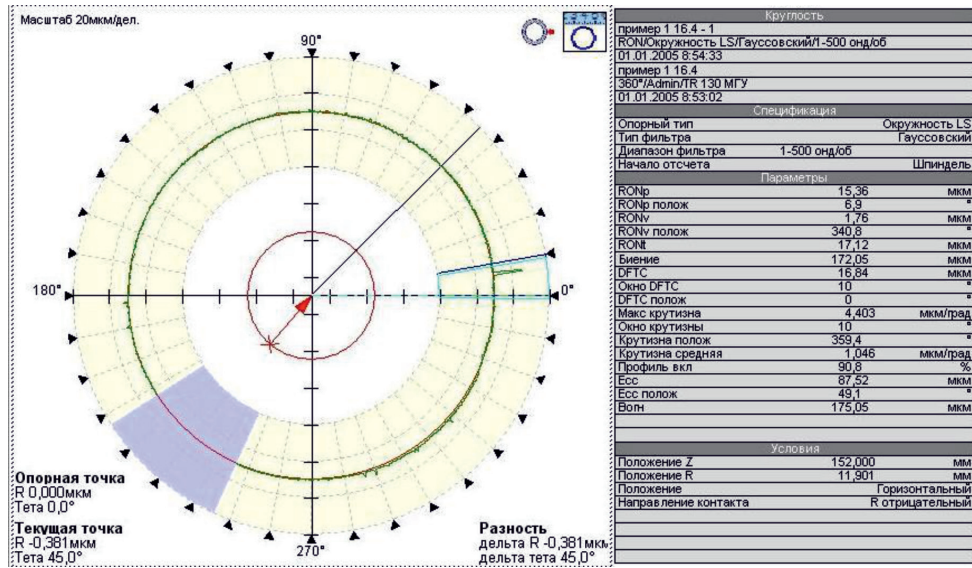


Рис. 3. Диаграмма кольцевых износов пояска золотника распределителя ГУР

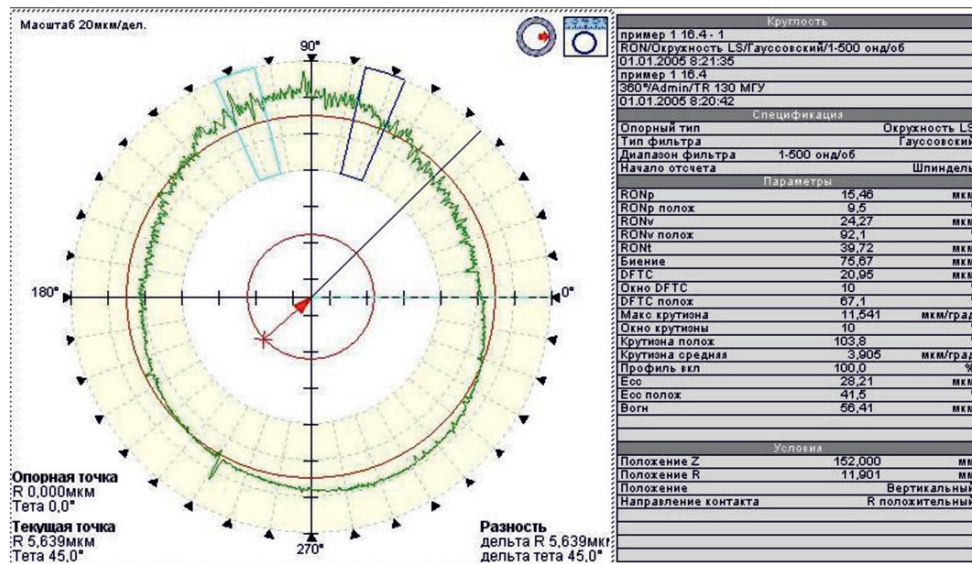


Рис. 4. Диаграмма кольцевых износов пояска корпуса распределителя ГУР



Рис. 5. Форма изношенных кромок золотника и корпуса распределителя

Таблица 3

Основные параметры распределения износов деталей золотниковой пары

Наименование параметра	Интервал значений	Математическое ожидание, m_x	Среднеквадратическое отклонение, σ_x
Максимальный радиальный износ кромок золотника, мкм	14–110	51	20,29
Максимальный радиальный износ кромок корпуса, мкм	43–125	85,3	18,63

Величина покрытия будет складываться из величин износов поясков золотника и поясков корпуса распределителя:

$$D_{\text{пок}} = U_{\text{кор}} + U_{\text{зол}}$$

где $U_{\text{кор}}$ – значение износа поясков корпуса, мкм;
 $U_{\text{зол}}$ – значение износа поясков золотника, мкм.

В качестве метода нанесения покрытия для восстановления поверхности золотника будет использоваться электроискровая наплавка, технология нанесения покрытий данным методом исследована в работах [4–6]. Она уже давно хорошо зарекомендовала себя при восстановлении зазоров величиной до 100–150 мкм в зазорах гидравлических агрегатов (насосы, моторы, гидрораспределители). Для восстановления зазора между золотником и корпусом распределителя будет также проводиться развертывание корпуса при помощи алмазных разверток на вертикально-сверлильном станке.

Соответственно, общий размер золотниковой пары увеличится от начального на величину снимаемого припуска с корпуса при механической обработке плюс припуск на совместную доводку поверхностей с целью уменьшения шероховатости.

Исходя из проведенных расчетов при восстановлении распределительной пары ГУР КамАЗ нами были рекомендованы увеличенные ремонтные размеры от номинального на 200, 400 и 600 мкм.

Выводы

Исследования корпуса и золотника распределительной пары гидроусилителей рулевого управления автомобилей семейства КамАЗ проведенные на приборе для определения круглости «Taylor Hobson» марки Talysond серия 130, позволили определить места наибольших износов, получить их

числовые характеристики и сформировать картину возникающих износов кромок. В дальнейшем полученные данные дали возможность рассчитать параметры распределения износов деталей золотниковой пары, определить величины наносимых и снимаемых слоев металлопокрытия и рекомендовать ремонтные размеры.

Таким образом, применение современного измерительного оборудования позволяет с высокой точностью определять износы деталей, что позволяет грамотно произвести расчеты припусков на механическую обработку при разработке технологических процессов ремонта деталей и в итоге существенно сократить время на его проведение.

Список литературы

1. Pavlov A.I., Polyani I.A., Kozlov K.E. Improving the Reliability of Hydraulic Drives Components. *Procedia Engineering*. 2017. № 206. P. 1629–1635.
2. Столяров А.В., Червяков С.В., Киселев Д.Н. Исследование достоверности математического моделирования методами инструментального контроля // *Научное обозрение. Технические науки*. 2018. № 6. С. 61–65.
3. Червяков С.В., Столяров А.В., Давыдкин А.М. Технологические рекомендации по ремонту рулевых механизмов автомобилей КАМАЗ // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 4 (51). С. 30.
4. Burumkulov F.Kh., Senin P.V., Velichko S.A., Ivanov V.I., Ionov P.A., Okin M.A. The properties of nanocomposite coatings formed on a steel 20H surface by means of electro-spark processing using rod-shaped electrodes of steels 65 G and Sv 08. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009. № 6. P. 455–460.
5. Давыдкин А.М. Повышение межремонтного ресурса интегрального рулевого механизма комплексным восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2008. 19 с.
6. Величко С.А. Ремонт агрегатов машин с восстановлением показателей безотказности и долговечности на уровне нового изделия // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. № 111. С. 19–23.

УДК 621.37:535.42

ОСОБЕННОСТИ ИСКАЖЕНИЯ СПЕКТРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИФРАКЦИИ НА ОТВЕРСТИЯХ

Борисенко А.Ю., Глущенко А.Г., Глущенко Е.П.

ФГБОУ «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, e-mail: gag646@yandex.ru

Дифракция волн приводит к перераспределению энергии волн в пространстве, зависящему от длины волны и к спектральному искажению широкополосных информационных сигналов, что особенно необходимо учитывать при создании акустических устройств. В работе рассматривается влияние дифракции на искажение спектра акустических информационных сигналов, возникающее из-за зависимости распределения интенсивности от длины волны падающего излучения. Проведен расчет зависимости распределения интенсивности волн от угла дифракции и от длины волны падающего излучения. Показано, что спектр сигнала сохраняется только напротив дифракционного отверстия. Определено, что при изменении угла дифракции происходит изменение интенсивности света по длинам волн. Определены зависящие от угла дифракции критические длины волн и частоты, на которых интенсивность излучения равна нулю и наблюдается наибольшее искажение информационных сигналов. Установлено, что увеличение числа отверстий приводит к увеличению уровня сигнала, но при этом степень искажения сигнала возрастает. С увеличением угла дифракции и ширины отверстий растет расстояние между соседними частотами с минимальной интенсивностью волны. Искажение спектра информационного сигнала растет при увеличении угла дифракции, а также при увеличении ширины отверстий в экране и числа этих отверстий.

Ключевые слова: дифракция, распределение интенсивности, искажение акустического спектра

FEATURES OF DISTORTION OF THE SPECTRUM OF INFORMATION SIGNALS AT DIFFRACTION ON HOLES

Borisenko A.Yu., Glushchenko A.G., Glushchenko E.P.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru

Wave diffraction leads to the redistribution of wave energy in space, depending on the wavelength and to the spectral distortion of information signals, especially broadband signals, which should be taken into account when creating acoustic devices. The paper considers the effect of diffraction on the distortion of the spectrum of acoustic information signals arising from the dependence of the intensity distribution on the wavelength of the incident radiation. The dependence of the wave intensity distribution on the diffraction angle and on the wavelength of incident radiation is calculated. It is shown that the signal spectrum is preserved only opposite the diffraction hole. It is determined that when the diffraction angle changes, the light intensity changes along the wavelengths. The critical wavelengths and frequencies depending on the diffraction angle are determined, at which the radiation intensity is zero and the greatest distortion of information signals is observed. It is established that the increase in the number of holes leads to an increase in the signal level, but the degree of distortion of the signal will increase. With increasing diffraction angle and hole width, the distance between adjacent frequencies with minimal wave intensity increases. The signal distortion increases with increasing diffraction angle, width and number of holes.

Keywords: diffraction, intensity distribution, distortion of the acoustic spectrum

Хорошо известно, что при прохождении волн через различные неоднородности структур наблюдается явление дифракции, огибания волнами препятствий [1–3]. Дифракция волн на экранах приводит к перераспределению энергии волн в пространстве, которое зависит от длины волны. Это явление хорошо изучено для монохроматических волн, однако реальные информационные сигналы характеризуются спектром и занимают определенную полосу частот, зависящую от типа сигнала и модуляции [4–5]. Частотная зависимость картины дифракции из-за сложного спектра реальных сигналов приводит к большему или меньшему искажению информационных сигналов при их взаимодействии с любыми неоднородностями

ми материалов сред и структур. Это может быть практически незаметным для узкополосных сигналов, но играет существенную роль для широкополосных сигналов [6–8]. В оптическом диапазоне ширина спектра сигналов существенно меньше несущих частот, на которых идет их передача, поэтому особенности влияния ширины спектра на дифракцию сигналов практически не рассматриваются.

Цель работы: изучение влияния дифракции акустических волн на одиночном отверстии или периодически расположенной системе отверстий на спектральные характеристики информационных акустических сигналов, которые в акустическом диапазоне являются широкополосными. Рассмотр-

но распределение интенсивности волн в зависимости от угла дифракции и от длины волны падающего излучения; влияние дифракции на искажение спектра информационного сигнала; определены зависящие от угла дифракции критические длины волн, на которых интенсивность излучения равна нулю. Установлены области наибольшего искажения спектра сигнала.

Материалы и методы исследования

Проводится теоретическое исследование дифракции плоской волны на отверстии в экране в широком диапазоне частот. Пусть на тонкий плоский экран с отверстием в виде длинной щели падает плоская акустическая волна (рис. 1), характеризующаяся для простоты анализа постоянным давлением p по всей ширине отверстия [3, 5]. Волновая поверхность падающей волны, плоскость щели и экран параллельны друг другу. Считаем щель бесконечно длинной так, что зависимостью поля по оси Oz пренебрегаем, тогда $\partial/\partial z = 0$ и структура поля в любой плоскости xOy , перпендикулярной к щели, будет одинакова. Можно представить отверстие частью волновой поверхности ($y = 0, 0 < x < a$) с одинаковыми элементами излучения шириной dx . Вторичные волны, возбуждаемые этими зонами излучения в направлении произвольного угла φ ($0 \leq \varphi \leq \pi/2$), соберутся в одной из точек экрана P (рис. 1). Пусть каждая элементарная зона излучения dx создаст в точке P колебание dp , амплитуда которого пропорциональна ширине зоны dx . Тогда можно записать

$$dp = Cdx,$$

где C – константа, коэффициент пропорциональности. Результирующая амплитуда колебаний, создаваемая всеми зонами, ищется интегрированием dp , по всей ширине источника (щели a):

$$p_0 = \int_0^a dp = \int_0^a Cdx = Ca.$$

Отсюда $C = \frac{p_0}{a}$ и, следовательно, $dp = \frac{p_0}{a} dx$. Для поиска функции распределения поля в пространстве определим фазовые соотношения между колебаниями dp , создаваемые различными элементами dx : зоной с координатой $x = 0$ и зоной с координатой x (рис. 1).

Если начальную фазу колебания, возбуждаемого в точке P элементарной зоной, находящейся с края щели ($x = 0$), принять

равной нулю, то фаза колебания, возбуждаемого зоной с координатой x , отстает на $\alpha \approx k\Delta = kx \sin \varphi$, где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны (рис. 1).

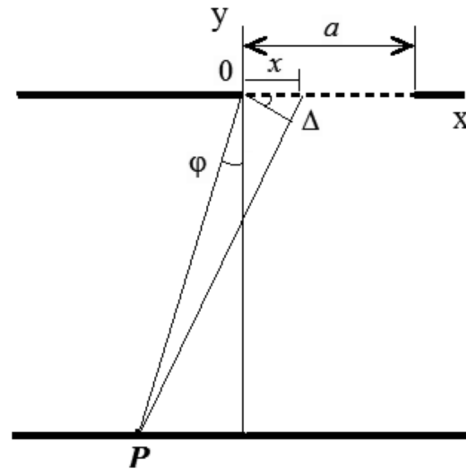


Рис. 1. Ход лучей в области дифракции

Тогда колебание, возбуждаемое элементарной зоной dx с координатой x в точке P (положение которой на экране определяется углом φ), может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} p_\varphi &= \int dp_\varphi = \int_0^a \frac{p_0}{a} \exp \left[i \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \varphi \right) dx \right] = \\ &= p_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right) \cos(\omega t - u), \end{aligned}$$

где параметр $u = \frac{\pi}{\lambda} a \sin \varphi$. Дифракционная картина симметрична относительно центра $\varphi = 0$. Амплитуда результирующего колебания:

$$p_\varphi = p_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)$$

зависит от угла дифракции φ , ширины отверстия в экране a и длины волны λ . Интенсивность поля за отверстием определяется соотношением

$$I_\varphi = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Амплитуда коэффициента передачи одиночной щели в акустическом диапазоне ($\nu = 50\text{--}15000$ Гц) для разных углов при разной ширине щели показана на рис. 2, а–в.

Для принятого соотношения параметров очевидно, что высокие частоты акустического диапазона для отверстий $a = 0,5 \div 1,5$ м в зону тени $\varphi > 20^\circ$ практически не проходят. Физически это связано с тем, что дифракция проявляется в тех случаях, когда длины волны сопоставимы с размерами препятствий. В таком случае в зоне тени наблюдается сигнал только низкочастотной части акустического диапазона.

Поскольку за разборчивость речи отвечают высокие частоты, этот эффект показывает, что разборчивость речи в зоне тени будет заметно ухудшаться. При углах дифракции $\varphi > 20^\circ$ на частотной характеристике выделяются частоты, на которых коэффициент передачи равен нулю (частоты

нулевого коэффициента передачи). С увеличением угла дифракции φ при любой ширине отверстия a частотная характеристика коэффициента передачи деформируется (сжимается) так, что положение частот с коэффициентом передачи равным нулю смещается в область низких частот (рис. 2, а). Одновременно существенно уменьшается коэффициент прохождения на высоких частотах. С увеличением ширины отверстия a коэффициент прохождения высоких частот также снижается (рис. 2, б, в).

Искажение спектральной характеристики сигнала сильно зависит от угла дифракции. Чем больше угол, тем больше искажение на высоких частотах и тем хуже слышен сигнал.

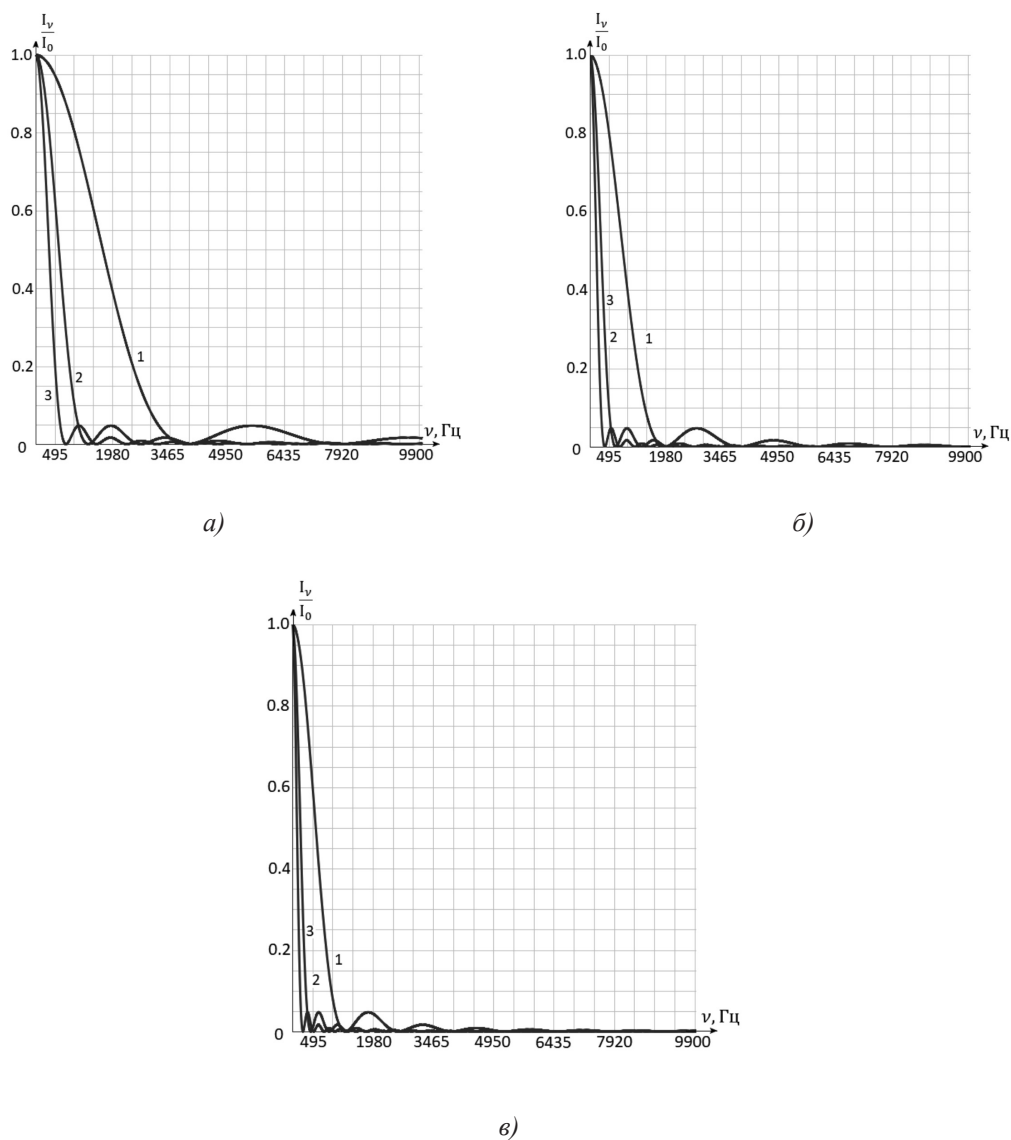


Рис. 2. Распределение интенсивности по частоте при различных углах дифракции: 1 – $\varphi = 10^\circ$, 2 – $\varphi = 30^\circ$, 3 – $\varphi = 60^\circ$ а) $a = 0,5$ м; б) $a = 1,0$ м; в) $a = 1,5$ м

При углах дифракции $\varphi > 0$ наблюдается искажение спектра падающего на отверстие излучения с вырезанием спектральных составляющих на частотах, определяемых соотношениями

$$v_n = \frac{nc}{a \sin \varphi},$$

или на длинах волн

$$\lambda_{n,\min} = \frac{a \sin |\varphi|}{n}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots$$

Эти частоты или длины волн могут попадать в акустическую область спектра и приводить к искажению сигналов. Например, при прохождении волн через отверстие шириной 1 м под углом дифракции $\varphi = 10^\circ$ самая низкая частота, на которой будет провал интенсивности сигнала при скорости звука $c = 340$ м/с равна 1954 Гц, при угле дифракции $\varphi = 20^\circ$ частота провала интенсивности равна 994 Гц, при угле дифракции $\varphi = 30^\circ$ низшая частота провала интенсивности сигнала равна 680 Гц, следующие частоты кратны $680 \cdot n$, т.е. 1360 Гц, 2440 Гц и т.д. Числовое значение частот, на которых интенсивность сигнала равна нулю зависит от угла дифракции. Это означает, что искажение спектра под разными углами дифракции будет различным. С увеличением угла дифракции, ширины отверстия расстояние Δv между соседними частотами v_{i+1} и v_i с минимальной интенсивностью волны также растет. Параметр Δv зависит (рис. 3) от ширины отверстия a , модуля угла дифракции φ и не

зависит от номера i частоты, на которых наблюдается минимум интенсивности:

$$\Delta v = v_{i+1} - v_i = \frac{c}{a \sin \varphi}.$$

Наибольшая зависимость Δv от угла дифракции φ наблюдается при малых углах дифракции $\varphi \leq \pi/6$. Дальнейший уход в область тени дает меньшую чувствительность параметра Δv от угла дифракции φ . Таким образом, дифракция волн приводит не только к перераспределению энергии волн в пространстве, которое зависит от частоты (или длины волны), но и к спектральному искажению сигналов (в особенности широкополосных сигналов), что необходимо учитывать при создании систем связи.

Прохождение сигнала через совокупность нескольких отверстий N при радиусе когерентности много больше длин волн, формирующих спектр сигнала, может быть представлено для периодически расположенных отверстий соотношением [3, 7]:

$$\frac{I_\varphi}{I_0} = \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin N \gamma u}{\gamma u} \right)^2,$$

$$u = \pi(a/\lambda) \sin \varphi, \quad \gamma = d/a.$$

Первый множитель описывает распределение интенсивности, формируемое одиночным отверстием шириной a в экране, второй – совокупностью N излучателей, расположенных с периодом d в плоскости экрана.

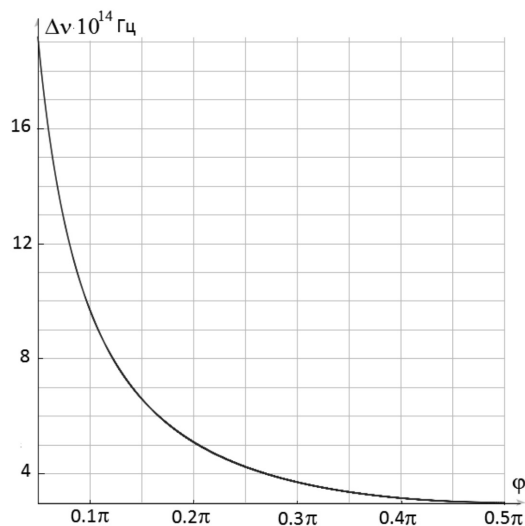


Рис. 3. Зависимость разности частот Δv между частотами с минимальной интенсивностью от угла дифракции

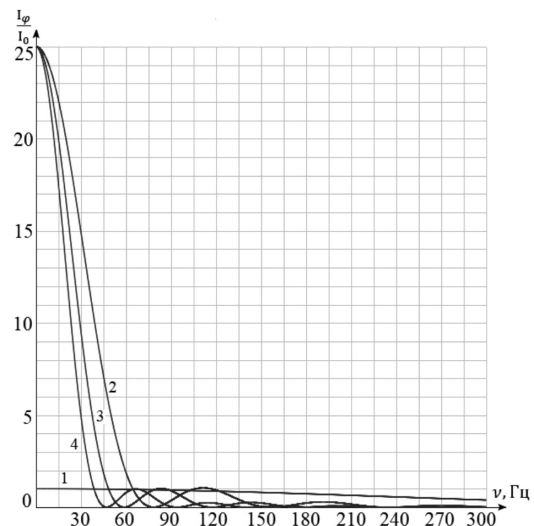


Рис. 4. Спектральное распределение интенсивности сигнала при прохождении 1 – щели и 2,3,4 – дифракционной решетки (кривая 1: $a = 2$ м, $N = 1$; кривые 2, 3, 4: $N = 5$, $a = 2, 3, 4$ м соответственно)

Зависимость интенсивности света от частоты для различных углов дифракции ($\varphi = \pi/18, b = 1$) показана на рис. 4. С ростом угла дифракции степень искажения спектра сигнала возрастает [7].

Заключение

Полученные результаты показывают, что дифракция сигнала на одиночном отверстии в экране и решетке сопровождается как перераспределением интенсивности света в области дифракции, так и искажением спектральной характеристики сигналов, вплоть до подавления отдельных спектральных компонентов сигналов.

Таким образом, дифракция волн на отверстиях в экранах приводит к перераспределению энергии волн в пространстве, которое зависит от частоты (или длины волны) и приводит, как и при интерференции [5, 7], к частотному искажению в особенности широкополосных сигналов. Таким образом, показано, что происходит искажение сигнала, особенно сильно заметное на высоких частотах. Это необходимо учитывать при создании элементов систем связи. Полученные результаты могут стать основой для разработки волновых акустических фильтров, в том числе выполненных на основе дифракционных

решеток, которые будут выделять желательные компоненты спектра информационного сигнала (и подавлять нежелательные компоненты спектра).

Список литературы

1. Дубнищев Ю.Н. Колебания и волны. СПб.: Лань, 2011. 384 с.
2. Дифракционная нанофотоника / Под ред. В.А. Сойфера. М.: Физматлит, 2011. 680 с.
3. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Мацыпура В.Т. Основы акустики. Киев: Наукова думка, 2007. 640 с.
4. Головастиков Н.В., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Сойфер В.А. Дифракционные решетки для дифференцирования оптических импульсов в пропускании и отражении // Компьютерная оптика. 2013. № 37 (2). С. 138–145.
5. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П., Борисенко А.Ю. Зависимость интенсивности света от длины волны при дифракции на щели в экране // Наука, техника и образование. 2018. № 11 (52). С. 6–12.
6. Ugwu E.I., Songden S.D., Jabil Y.Y. Attenuation of Electromagnetic Wave Propagating Through Roofing Sheet: Aluminum, Zinc and Asbestos. American Journal of Electromagnetics and Applications. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 7–13. DOI: 10.11648/j.ajea.20170501.12.
7. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П., Фирсова А.А. Зависимость распределения интенсивности дифрагированного света от структуры поля в отверстии плоского экрана // Научное обозрение. Технические науки. 2018. № 6. С. 11–15.
8. Григорьева Н.С., Кадыров С.Г., Куприянов М.С. Дифракция звуковых импульсов на сфере в плоскостом волноводе с градиентным слоем // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 3. С. 275–282.

УДК 681.782.473

ПРОБЛЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦЕНТРА ВНИМАНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ПОДСВЕТКИ

Исаева О.Л., Киселева Е.С., Бороненко М.П.

*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, e-mail: isoksi06@gmail.com,
kiselevampso@gmail.com, marinaboronenko@gmail.com*

Сегодня важным аспектом современности является безопасность. Все чаще в системах безопасности применяют биометрические данные. Eye-tracker распознает и записывает положение зрачков и движения глаз. Устройство eye-tracker можно носить на голове или стационарно, его размещают на столе перед экраном монитора, его также можно использовать в любых исследованиях, связанных со зрительной системой. Зрительная информация вызывает естественные реакции глаз на увиденное, которые невозможно контролировать. Современные системы ай-трекинга показывают высокую точность при условии жесткой фиксации головы испытуемого. В системах айтрекинга без инфракрасной подсветки та же проблема. Чтобы выявить причины изменений размеров зрачков, необходимо как можно точнее отслеживать положение центра внимания. Удовлетворительные результаты дала методика отслеживания центра внимания по координатам центра масс изображения зрачка. В условиях беспрепятственного поворота головы искажения трека становятся заметными. Контроль изменения координат отраженного в зрачке изображения относительно центра зрачка позволяет увеличить точность траектории центра внимания. Определяя углы Эйлера, можно изменять координаты центра внимания. Это позволит повысить точность идентификации причины изменения размера зрачка. Мы предлагаем альтернативный, более простой метод регулировки. В предлагаемом способе осуществляется переход к системе координат, связанной с зрачком.

Ключевые слова: ай-трекинг, тест-объект, координатная связь, эмоциональная реакция, пупиллограммы, центр масс

THE PROBLEM OF TRACKING THE CENTER OF ATTENTION BY OPTOELECTRONIC SYSTEMS WITHOUT THE USE OF INFRARED ILLUMINATION

Isaeva O.L., Kiseleva E.S., Boronenko M.P.

*Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: isoksi06@gmail.com, kiselevampso@gmail.com,
marinaboronenko@gmail.com*

Today, an important aspect of modernity is safety. Increasingly, biometric data is used in security systems. Eye-tracker recognizes and records the position of the pupils and eye movements. The eyetracker device can be worn on the head or stationary, which is placed on a table in front of the monitor screen, it can also be used in any research related to the visual system. Visual information causes natural eye reactions to what is seen, which cannot be controlled. Modern i-tracking systems show high accuracy provided that the subject's head is rigidly fixed. In non-infrared lighting tracking systems, the same problem. To find out the causes of changes in the size of the pupils, it is necessary to track the position of the center of attention as accurately as possible. Satisfactory results were obtained by the technique of tracking the center of attention by the coordinates of the center of mass of the pupil image. In the conditions of unobstructed head rotation, track distortions become noticeable. Monitoring changes in the coordinates of the image reflected in the pupil relative to the center of the pupil can increase the accuracy of the center of attention trajectory. By defining Euler angles, you can change the coordinates of the center of attention. This will improve the accuracy of identifying the causes of changes in pupil size. We offer an alternative, simpler adjustment method. In the proposed method, a transition is made to the coordinate system associated with the pupil.

Keywords: eye tracking, test-object, a coordinate bond, an emotional response, pupillograms, center of mass

Сегодня важным аспектом современности является безопасность [1]. Для ее обеспечения внедряются новейшие технологии. Все чаще в системах безопасности применяют биометрические данные [2]. Eye-tracker распознает и записывает положение зрачков и движения глаз. Устройство eyetracker можно носить на голове (очки или шлем) или стационарно, его размещают на столе перед экраном монитора, его также можно использовать в любых исследованиях, связанных со зрительной системой. Зрительная информация вызывает естествен-

ные реакции глаз на увиденное, которые невозможно контролировать [2]. Поэтому данная методика широко используется в таких приложениях, как выявление сонливости, диагностика различных клинических состояний или распознавание радужки, когнитивная и поведенческая терапия, визуальный поиск, реклама, неврология, психология, а также применяется для анализа в системах безопасности [3, 13].

О.В. Жбанкова и В.Б. Гусев рассматривают применения айтрекера и полиграфа в практике профессионального отбора

кадров [4]. Ren-JyeDzeng, Chin-TengLin, Yi-ChoFang с помощью системы eye-tracking сравнивали, как опытные и начинающие работники могут оценить опасности на строительной площадке [5]. Таким же способом можно выяснять компетентность персонала в специальных вопросах. Часто отслеживание глаз используется для определения лжи [6]. Процесс регистрации положения и движения взгляда человека занимает в три раза меньше времени, чем стандартное исследование с использованием полиграфа. Этот метод же также используется в судебных экспертизах для определения истинности показаний [7]. Технология eye-tracking используется для повышения результативности в различных видах спорта, для прогнозирования поведения потребителей в ответ на различные маркетинговые стимулы, в процессе изучения иностранного языка и перевода, в процессе контроля знаний в дистанционном обучении. Эмоциональную устойчивость человека можно определить по его реакции на представленные тест-объекты, путем анализа изменений размеров зрачка и траектории его движения.

В большинстве работ, посвященных использованию технологий слежения за глазами, анализируется направленность внимания при выполнении технических действий (в том числе игнорировании зрительных стимулов), измерение диаметра зрачка (как показателя когнитивной нагрузки), количества саккадических движений глаз, а также фиксаций, морганий и других параметров (Барабанщиков, Жегалло, 2013 и др.) [8]. Регистрируя время фиксации и плотность траектории взгляда, можно судить о значимости увиденных элементов для человека.

Существующие методы достаточно хороши для распознавания попыток сокрытия информации, но ни одна технология не может с абсолютной уверенностью дать 100-процентный результат [9]. Используемая при этом аппаратура, работает на принципе регистрации движений глаз в инфракрасном излучении с последующим определением направления по вектору смещения между центрами зрачка и роговичным блеском, дает высокую точность результатов при условии фиксации головы испытуемого. Однако без оборудования, обеспечивающего фиксацию головы, процесс анализа данных усложняется, увеличивается погрешность, поэтому разработка других методов, позволяющих без использования специального оборудования повысить точность и достоверность данных, является актуальной [10]. Применение для этих целей оптоэлектронных систем без применения инфракрасной подсветки имеет

ряд преимуществ, связанных с тем, что глазодвигательные реакции регистрируются дистанционно, без прикрепления датчиков к телу испытуемого, что делает процедуру оценки ненавязчивой. В связи с чувствительностью отслеживаемых координат к повороту головы возникает необходимость разработки метода, снижающего влияние этого эффекта.

Цель исследования: разработка способа повышения точности отслеживания центра внимания трека оптоэлектронными системами без применения инфракрасной подсветки.

Материалы и методы исследования

Для изучения реакции зрачка на тестовые объекты был разработан шлем, создающий жесткую координатную связь между камерой и головой. Для видеосъемки использовались Астро-камера T7 Astronomical Astronomy Planetary High Speed Electronic Eyepiece Telescope Digital Lens для наведения Астро-фотографии, видеорежим 30 fps, объектив микроскопа с оптическим увеличением 1X-100X. В эксперименте приняли участие 17 человек. Основную часть обследованных составили лица в возрасте до 20 лет, мужчин – 8, женщин – 9. Глазных заболеваний у респондентов не было. Все участники были заранее предупреждены и добровольно решили принять участие в эксперименте. В качестве тест-объектов использовались специально подобранные картинки с негативной эмоциональной окраской (отвращение, раздражение). Стимульный материал выводился на экран монитора. Расстояние между тест-объектами и глазом составляло не менее 2,5 м, испытуемым попеременно через равные промежутки времени предъявлялись изображения тест-объектов и монохромные слайды светлого-серого цвета. Во время всех экспериментов яркость тестовых объектов не изменялась. Отбор тестовых изображений осуществлялся на основе опроса, проведенного среди большого числа респондентов.

Перед началом испытания каждый испытуемый проходил инструктаж, в котором оговаривались требования к процедуре испытания и порядку ее прохождения, а также регулировке кресла, на котором сидел испытуемый, и экрана монитора. Это было необходимо, в связи с физиологическими особенностями каждого человека. Индивидуальные данные испытуемых по реакции на тестовые объекты анализировались на основе изменения размеров зрачка и трека внимания. Общее время всей процедуры исследования занимает не более 5 мин.

Обработка и анализ полученных результатов осуществлялись в два этапа. Во-первых, проводилось препарирование изображений, обработка и оконтуривание зрачков в ImageJ. Это было необходимо для дальнейшего анализа полученных данных: координатной траектории зрачка и его относительного размера. Визуализация результатов была проведена в Origin19. Программное обеспечение Origin является одним из самых мощных инструментов для графического представления результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

При осуществлении серии экспериментов с предъявлением неприятного стимульного материала трудно найти одинаковый эмоциональный отклик. Кроме того, интенсивность раздражителей низкая. Это связано с разными предпочтениями, темпе-

раментом людей, текущие проблемы и т.д. Поэтому результаты порой оказывались неожиданными. Мы планировали получить реакцию на тестовый объект, вызывающий отвращение, и получили реакцию на изображение Wi-Fi (рис. 1). Испытуемый никак не реагировал на тест-объект, который должен был вызвать отвращение, так как в момент тестирования он думал об онлайн-играх. Это выяснил опрос, проведенный после тестирования. Для него отсутствие интернета оказалось стрессовой ситуацией.



Рис. 1. Трек внимания

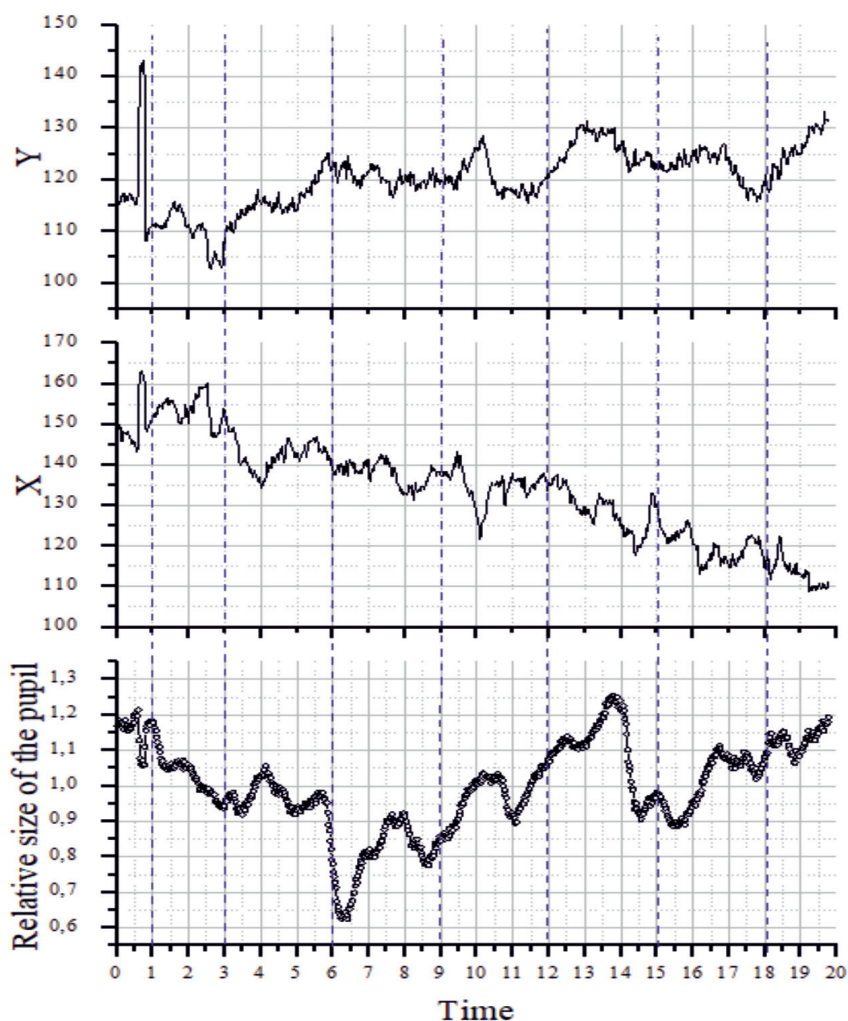


Рис. 2. График зависимости относительного размера зрачка и его координат движения от времени

На рис. 2 приведены графики зависимости изменения площади и координаты зрачка от времени демонстрации испытуемого объекта. В период от 6 до 9 секунд испытуемый наблюдал тестовый объект с изображением Wi-Fi (рис. 1). Анализ показал, что за этот период произошло незначительное изменение координат X и Y. Калибровка показала, что смещение центра внимания на $1^{\circ}38'$ приводит к изменению размера зрачка не более чем в 0,1 раза. Синхронизация пупиллограммы с координатами отслеживает внимание через программное обеспечение.

В ходе калибровки было установлено, что в некоторых случаях полученные треки были смещены относительно области изображения (рис. 3, трек бирюзовый). Это связано с отсутствием жесткой координатной связи между головкой и поверхностью монитора, с которой демонстрировались тестовые объекты.

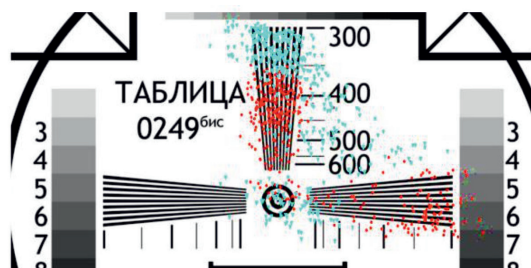


Рис. 3. Искажение визуального следа вследствие вращения головы – бирюзовые точки; тот же трек в системе координат, связанным с центром зрачка – красные точки

Узнав параметр центр масс, можно определить координаты «центра внимания». Для

$$R = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \psi - \sin \varphi \cos \theta \sin \psi & \cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \cos \theta \cos \psi & \sin \varphi \sin \theta \\ -\sin \varphi \cos \psi - \cos \varphi \cos \theta \sin \psi & -\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \theta \cos \psi & \cos \varphi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \psi & -\sin \theta \cos \psi & \cos \theta \end{pmatrix}.$$

Уравнения, выражающие координаты точки в системе координат $O'x'$ relative относительно системы координат Oxy :

$$\begin{cases} x = (\cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi)x' + (-\cos \psi \sin \varphi - \sin \psi \cos \varphi \cos \theta)y' + \sin \psi \sin \theta z', \\ y = (\sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \cos \theta \sin \varphi)x' + (-\cos \psi \sin \theta + \cos \psi \cos \varphi \cos \theta)y' - \cos \psi \sin \theta z', \\ z = \sin \theta \sin \varphi x' + \sin \theta \cos \varphi y' + \cos \theta z'. \end{cases}$$

Таким образом, определяя углы Эйлера по упомянутой выше методике [11–12], можно изменять координаты центра внимания. Это позволит повысить точность идентификации причины изменения размера зрачка. Мы предлагаем альтернативный, более простой метод регулировки. В предлагаемом способе осуществляется переход к системе координат, связанной с зрачком. После этого перехода (рис. 3) трасса (красная) стала соответствовать заданию, поставленному перед участниками.

этого необходимо на каждом кадре найти границы зрачка, указав порог (минимальную яркость), по которому осуществляется разделение. Получим черно-белое изображение (рис. 4).

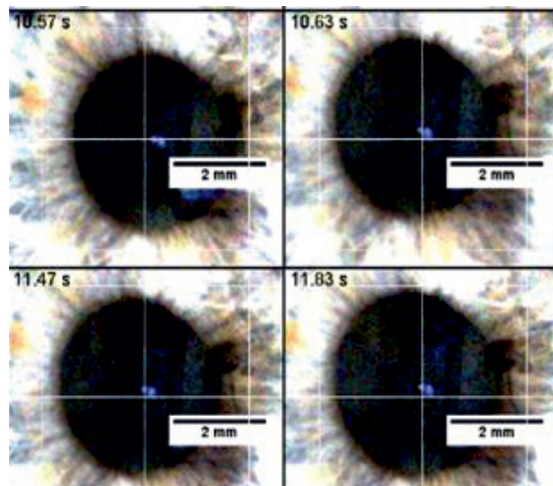


Рис. 4. Смещение центра внимания относительно координат

Каждое движение головы вызывает отклонение регистрируемого трека от истинного. Такие искажения недопустимы в высокоточных системах. Авторы М.Ю. Катаев и Н.В. Ковалев предложили метод оценки углов поворота головы человека, не критичный к изменению условий измерений [11–12]. Известно, что углы Эйлера однозначно определяют поворот одной системы координат относительно другой. Матрица вращения R:

Также по результатам исследования можно сказать, что необходимо сортировать результаты на две группы: эмоциональные люди и неэмоциональные люди. Так как полученные пупиллограммы эмоциональных людей имеют большую амплитуду даже без испытываемых эмоций.

Выводы

В ходе проведенных исследований было установлено, что изменение угла наклона или поворота головы приводит к искажению трека, полученного методом без применения инфракрасной подсветки; переход к системе координат, связанной с центром зрачка, при отслеживании центра внимания позволяет минимизировать искажения. Так как очень важна точность трека для идентификации элемента, в котором была эмоциональная реакция. В этом случае видеочасть, используемая для получения информации о направлении взгляда, имеет жесткий координатный контакт с головой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-47-860018 p_a.

Список литературы

1. Фоменко Г.Ю. Психология личной безопасности: теоретико-методологические основы институционализации // Сообщество. Управление. 2010. № 1. С. 83–99.
2. Лебедеко Ю.И. Биометрические системы безопасности: учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 171 с.
3. Лунева Е.А., Скобелкина Н.Г. Эйтрекинг в системе современных технологий нейромаркетинга // Стаж. 2016. № 3 (24). С. 50–53.
4. Жбанкова О.В., Гусев В.Б. Применение айтрекинга в практике профессионального отбора кадров // Экспериментальная психология. 2018. Т. 11. № 1. С. 156–165.
5. Dzeng R.J., Lin C.T., Fang Y.C. Using eye-tracker to compare search patterns between experienced and novice workers for site hazard identification. Safety Science. 2016. V. 82. P. 56–67.
6. Бороненко М.П., Зеленский В.И., Киселева Е.С. Применение волн внимания в качестве маркера скрытых намерений // Национальный психологический журнал. 2019. № 2 (34). С. 88–98. DOI: 10.11621/npj.2019.0212.
7. Жбанкова О.В., Гусев В.Б. Использование метода видеоокулографии (eyetracking) для выявления скрытой информации // Комплексная психопсихофизиологическая судебная экспертиза: современное состояние и перспективы развития: сборник статей научно-практической конференции (Калуга, 22–23 сентября 2016 г.). Калуга, 2016. С. 102–105.
8. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В., Жозе Е.Г. Оценка достоверности сообщаемой информации о невербальном поведении // Комплексная психопсихофизиологическая судебная экспертиза: современное состояние и перспективы развития: сборник статей научно-практической конференции (Калуга, 22–23 сентября 2016 г.). Калуга, 2016. С. 26–36.
9. Фазылзянов Г.И., Белалов В.Б. Отслеживание глаз: когнитивные методики в визуальной культуре // Вестник Тамбовского государственного университета. 2014. № 2. С. 628–633.
10. Демидов А.А., Жегалло А.В. Оборудование SMI для регистрации движений глаз: тест-драйв // Экспериментальная психология. 2008. № 1. С. 149–159.
11. Катаев М.Ю., Ковалев Н.В., Грибоедов А.А. Восстановление углов поворота головы человека по изображениям // Доклады ТУСУРа 2.1. 2012. С. 238–242.
12. Катаев М.Ю., Ковалев Н.В. Оценка положения головы человека на основе анализа изображений // Доклады ТУСУР. 2010. № 1–2 (21). С. 183–187.
13. Бороненко М. и др. Использование активных тестовых объектов в системах безопасности // Материалы международной конференции АНФЕ 2019 по Нейроэргономике и когнитивной инженерии, а также международной конференции АНФЕ по промышленной когнитивной эргономике и инженерной психологии, 24–28 июля 2019 года, Вашингтон, США. Springer. С. 438.