

*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 30.12.2019
Дата выхода номера 30.01.2020
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.12.2019
Release date 30.01.2020
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 ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2019/6
© 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

2019 г.



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

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

СТАТЬЯ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ ФОРМЫ НА СОТРУДНИКЕ
И ЕГО ИДЕНТИФИКАЦИИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Карпов Е.К., Маковкин К.В., Фитель В.В., Шлягина А.Л. 5

СТАТЬЯ

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Попов С.В. 11

СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМИТАЦИИ
НАГРУЖЕНИЯ ПРИВОДА

Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Мендикенов К.К., Оразбеков Д.Е., Левцанов Р.В. 16

ОБЗОР

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ

Гашенко Ю.В., Астапов В.Н. 21

СТАТЬЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ASPEN PLUS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
РАСШИРЕНИЯ ПАРА В ТУРБИНЕ

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. 28

СТАТЬЯ

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ МНОГОРАКУРСНОЙ
ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Алексян Г.К., Щербаков И.Д., Кучер А.И. 33

СТАТЬЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА КРИВИЗНУ

Нефедова В.А., Дубанов А.А. 38

СТАТЬЯ

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРОВ СЕМЕЙСТВА МТЗ И МЕТОД
ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТЫ ARDUINO

Гордиенко В.В. 44

СТАТЬЯ

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА
НА ОСНОВЕ ФРАЗОВОГО ВЫРАВНИВАНИЯ

Козина А.В., Черепков Е.А., Белов Ю.С. 50

СТАТЬЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ
И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Прасолова Е.А., Белоусова И.Д. 56

CONTENTS

Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

ARTICLE

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX
OF THE INDIVIDUAL SYSTEM FOR MONITORING THE AVAILABILITY
OF THE FORM ON THE EMPLOYEE AND ITS IDENTIFICATION AT THE WORK PLACE

Karpov E.K., Makovkin K.V., Fitel V.V., Shlyagina A.L. 5

ARTICLE

PREDICTION PATTERNS

Popov S.V. 11

ARTICLE

DESIGN FEATURES OF THE DEVICE FOR SIMULATION OF DRIVE LOADING

Beysembaev K.M., Malybaev N.S., Mendikenov K.K., Orazbekov D.E., Levschanov R.V. 16

REVIEW

ANALYTICAL REVIEW AND RESEARCH OF DEVICES AND METHODS
FOR MEASURING LIQUID DENSITY

Gashenko Yu.V., Astapov V.N. 21

ARTICLE

USING ASPEN PLUS TO INVESTIGATE TURBINE STEAM EXPANSION

Ilichev V.Yu., Yurik E.A. 28

ARTICLE

HARDWARE-SOFTWARE LIMITATIONS OF MULTI-ANGLE ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D., Kucher A.I. 33

ARTICLE

MODELING TRAJECTORIES WITH CURVATURE RESTRICTIONS

Nefedova V.A., Dubanov A.A. 38

ARTICLE

ANALYSIS OF MALFUNCTIONS OF TRANSMISSIONS OF TRANSFERS OF TRACTORS
OF THE MTZ FAMILY AND THE METHOD OF THEIR DIAGNOSIS BASED
ON THE ARDUINO MICROCONTROLLER BOARD

Gordienko V.V. 44

ARTICLE

QUALITY ASSESSMENT APPROACH OF MACHINE TRANSLATION BASED
ON PHRASES ALIGNMENT

Kozina A.V., Cherepkov E.A., Belov Yu.S. 50

ARTICLE

CLASSIFICATION OF MARKETING SOFTWARE PRODUCTS
AND THEIR COMPARATIVE ANALYSIS

Prasolova E.A., Belousova I.D. 56

СТАТЬЯ

УДК 004:608.4

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ ФОРМЫ
НА СОТРУДНИКЕ И ЕГО ИДЕНТИФИКАЦИИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ**

Карпов Е.К., Маковкин К.В., Фитель В.В., Шлягина А.Л.

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: makovkin900@mail.ru

Несмотря на то, что уровень технического развития в мире растет, до сих пор невозможна полная автоматизация предприятий. Эта проблема особенно актуальна для вредных производств, работа на которых может причинить вред здоровью сотрудников в случае отсутствия на них средств индивидуальной защиты (СИЗ). Поэтому для сотрудников таких предприятий существует необходимость ношения формы как СИЗ в соответствии с техникой безопасности (ТБ). В данной статье рассматривается процесс разработки программной и аппаратной частей комплекса индивидуальной системы контроля наличия формы на сотруднике и его идентификация на рабочем месте. Разработка аппаратной части основывается на выборе микроконтроллера, датчиков, необходимых для получения информации о соблюдении ТБ сотрудником, и выборе канала связи. Также в данном пункте рассматривается потребление тока устройством и рассчитывается время его работы без подзарядки. Разработка программной части включает в себя создание программного средства, предназначенного для оповещения о факте нарушения техники безопасности определенным сотрудником. Также данная часть включает в себя разработку программного средства для передатчика – устройства, находящегося на сотруднике. Для спроектированного устройства был разработан корпус, обеспечивающий степень защиты IP52. В рамках статьи была рассмотрена система, отслеживающая нарушения в ношении формы и присутствия сотрудника на рабочем месте. Данная система может быть дополнена и доработана.

Ключевые слова: микроконтроллер, программное средство, датчики, алгоритм, программно-аппаратный комплекс

**DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX
OF THE INDIVIDUAL SYSTEM FOR MONITORING THE AVAILABILITY
OF THE FORM ON THE EMPLOYEE AND ITS IDENTIFICATION AT THE WORK PLACE**

Karpov E.K., Makovkin K.V., Fitel V.V., Shlyagina A.L.

Kurgan State University, Kurgan, e-mail: makovkin900@mail.ru

Despite the fact that the level of technical development in the world is growing, the full automation of enterprises is still impossible. This problem is especially relevant for noxious industries, work on which can harm the health of employees in the absence of personal protective equipment (PPE). Therefore, for employees of such enterprises, there is a need to wear uniforms like PPE in accordance with safety precaution (SP). This article discusses the process of developing the software and hardware of the complex of an individual system for controlling the presence of form on an employee and his identification at the workplace. The development of the hardware is based on the choice of a microcontroller, the sensors and the choice of a communication channel. Also in this paragraph, the current consumption of the device is considered and the time of its operation without recharging is calculated. The development of the software part includes the creation of a software designed to alert a to a safety violation by particular employee. This part also includes the development of software for the transmitter – a device located on the employee. For the designed device, housing has been developed that provides a degree of protection IP52. As part of the article, a system was examined that tracks violations in the wearing of uniforms and the presence of an employee in the workplace. This system can be supplemented and finalized.

Keywords: microcontroller, software, sensors, algorithm, hardware and software system

В настоящее время существует множество вредных, опасных производств, полная автоматизация которых невозможна; среди них: горнодобывающая отрасль, коксохимическая, металлообрабатывающая и другие [1]. На вредных, опасных предприятиях сотрудники обязаны носить средства индивидуальной защиты, но, к сожалению, не всегда выполняют это.

Цель исследования: разработка программно-аппаратного комплекса индивидуальной системы контроля наличия формы на сотруднике и его идентификации на рабочем месте.

*Обоснование необходимости разработки
программно-аппаратного комплекса
индивидуальной системы
контроля наличия формы*

Сотрудники предприятий, а особенно сотрудники, работающие на вредных производствах, должны носить форму как средство индивидуальной защиты. Отсутствие формы на специалисте может повлечь причинение вреда его здоровью. Поэтому в рамках данной работы было спроектировано программно-аппаратное средство, способное идентифицировать сотрудника, от-

слеживать наличие формы на нем, а также информировать об этом соответствующие службы предприятия. Исходя из поставленной проблемы, необходимо определить, кто из сотрудников присутствует на рабочем месте. Помимо этого устройство должно определять, надета ли на сотруднике форма. В качестве датчика, отвечающего за информацию о наличии формы на сотруднике, предлагается использовать инфракрасный датчик. В зависимости от конкретных средств индивидуальной защиты возможно использование и других датчиков, например датчиков Холла. Данное устройство должно быть беспроводным для передачи данных на мобильное устройство соответствующей службе предприятия, поэтому нужно выбрать способ связи. В качестве канала связи могут быть выбраны модуль Bluetooth, Wi-Fi или модуль NRF24L01. Канал связи выбирается в зависимости от дистанции до приёмника: для Bluetooth-модуля до 20 м, Wi-Fi – 100–150 м, а для радиомодуля NRF24L01 дистанция до 1 км. Для обработки информации, поступающей с датчиков, управления процессом обработки этих данных и передаче их по беспроводному каналу связи необходим микроконтроллер.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения того, присутствует ли сотрудник на предприятии, можно использовать RFID-метки. Так как они являются достаточно распространенными, на многих предприятиях имеются считыватели RFID-меток и индивидуальные метки работников, поэтому внедрение подобного программно-аппаратного средства будет экономически выгодно.

Для определения наличия формы на сотруднике предполагается использовать инфракрасный датчик. Датчик будет фиксировать тепловое излучение сотрудника, а при изменении интенсивности излучения (снятия средства индивидуальной защиты) сигнал будет передан на микроконтроллер.

На некоторых средствах индивидуальной защиты удобнее и целесообразнее будет использовать датчик Холла. Предполагается в средство индивидуальной защиты встраивать магниты, при отдалении магнита от датчика будет передан сигнал на микроконтроллер.

В качестве инфракрасного датчика предлагается использовать Arduino HC-SR501, так как он оптимален для выполнения данной задачи.

Для дополнительного контроля за безопасностью сотрудника возможно дополнение устройства другими датчиками в зави-

симости от факторов, влияющих на человека на том или ином вредном производстве. Например, датчиками угарного газа, ионизирующего излучения, удара и т.д.

Выбор канала связи был сделан в пользу Bluetooth-модуля HC-06 [2], так как он, по сравнению с радио- и Wi-Fi-модулями, потребляет меньший ток, что повышает автономность устройства. Также он дешевле, чем Wi-Fi-модуль. Bluetooth-модуль является стабильным по сигналу, распространенным, а также сигнал с этого модуля можно отслеживать через телефон [3].

В разработанном устройстве используется микроконтроллер фирмы ATMEL Atmega328p, так как он совместим с огромным количеством цифровых, аналоговых и цифро-аналоговых датчиков, имеет достаточное быстродействие, функцию обработки внешних и внутренних прерываний, 6 режимов сна (пониженное энергопотребление и снижение шумов для более точной работы АЦП), достаточное количество цифровых и аналоговых входов и выходов.

Для уменьшения потребления тока и увеличения продолжительности работы устройства от аккумулятора, а также минимизации габаритов устройства можно использовать микроконтроллер фирмы ATMEL ATtiny24, выполненный в корпусе SOIC-14-3.9, размеры которого $8,71 \times 4 \times 1,5$ мм. Имеет малый потребляемый ток:

- Активный режим: 1 МГц, 1,8 В: 380 мкА;

- Режим снижения потребляемой мощности: 100 нА при 1,8 В.

Рассчитаем потребление тока всего устройства:

- Модуль Bluetooth HC-05-50 мА;

- RFID-модуль RC522-26 мА;

- Инфракрасный датчик HC-SR501 – 50 мА;

Потребление тока всего устройства примерно 127 мА.

При использовании двух аккумуляторов 18650 емкостью 3300 мА/ч данное устройство проработает $6600/127 = 52$ ч без подзарядки.

На основании этого подбора элементов были разработаны схема электрическая принципиальная и схема структурная (рис. 1, 2).

Были собраны тестовые модели данных устройств, которые представлены на рис. 3.

После разработки аппаратной части передатчика, осуществляющего контроль за сотрудником, встала задача разработки программного средства для передатчика (устройства, находящегося на сотруднике) и для мобильного средства, информирующего о состоянии датчиков.

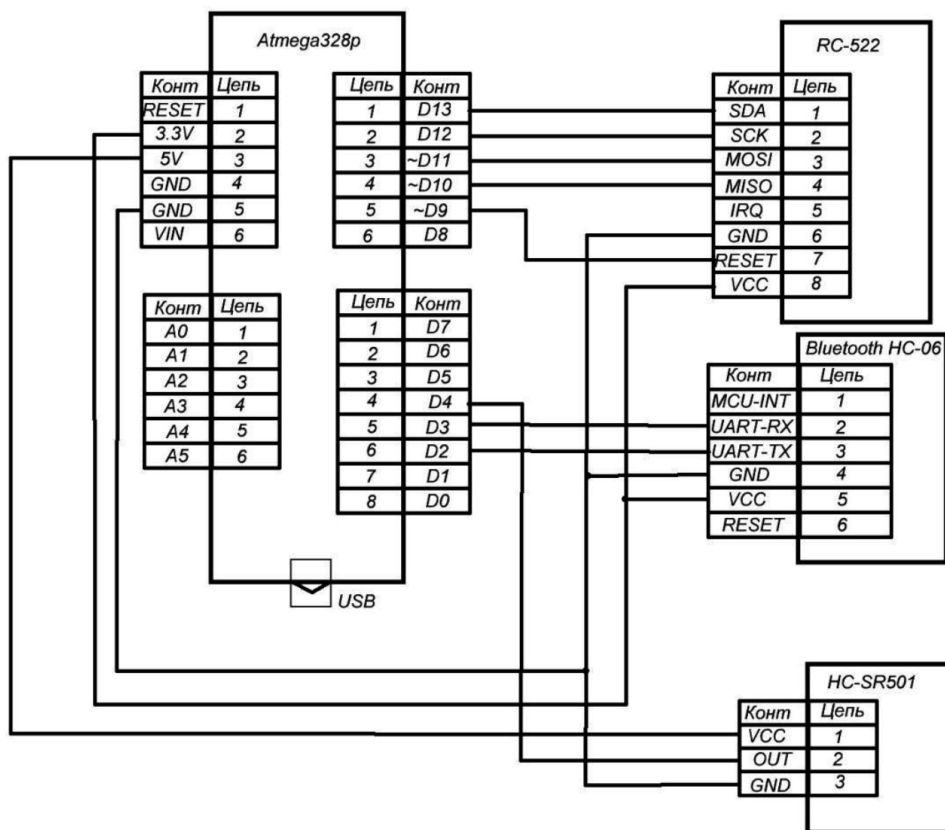


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема

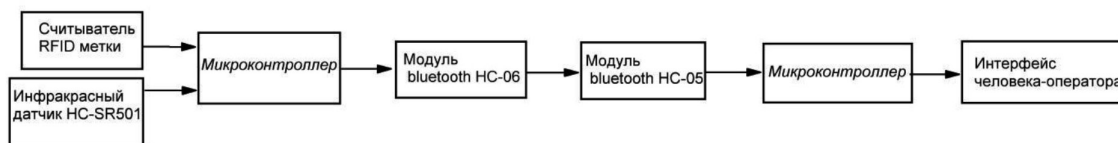


Рис. 2. Структурная схема

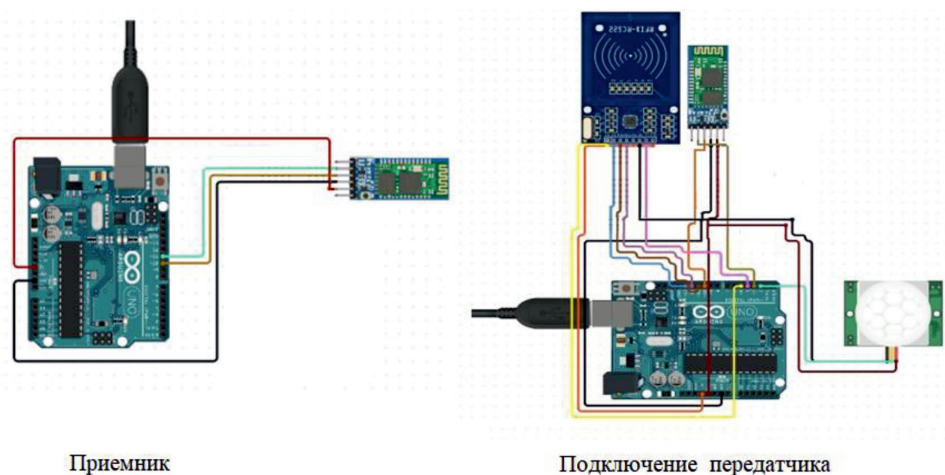


Рис. 3. Тестовые модели приемника и передатчика

В соответствии с задачами, которые должно выполнять программное средство передатчика, был разработан алгоритм его работы (рис. 4). Как видно из блок-схемы алгоритма (рис. 4), в программе имеются три ветвления (проверка условий выполнения), прочитана ли RFID метка, снял ли сотрудник средство индивидуальной защиты и, если была прочитана метка или снят датчик, передача уведомления на мобильное устройство.



Рис. 4. Блок-схема программного средства передатчика

В соответствии с задачами, которые должно выполнять программное средство мобильного устройства, был разработан алгоритм его работы (рис. 5). Как видно из блок-схемы алгоритма (рис. 5), программное средство, предназначенное для мобильного устройства значительно сложнее, чем для микроконтроллера. При загрузке программы производится чтение данных обо всех сотрудниках из соответствующего файла и выделение динамического массива объектов класса под них. В бесконечном цикле обработки событий проверяется: был ли

принят пакет данных от микроконтроллера, если пакет был принят, то идет его обработка. Обработка заключается в изменении отображаемой информации на экране мобильного устройства.

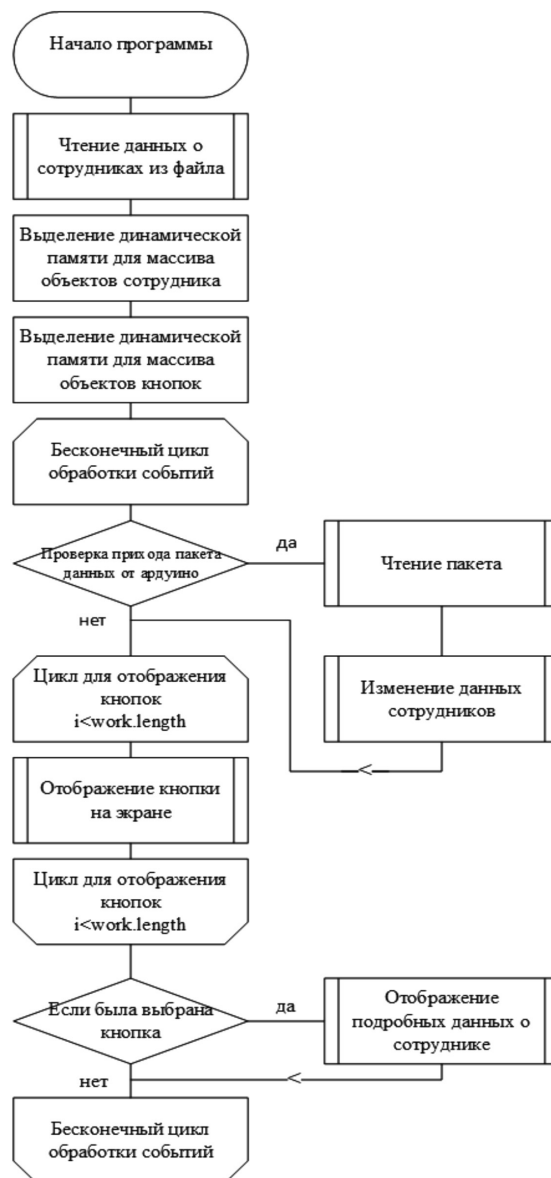


Рис. 5. Блок-схема программного средства мобильного устройства

Так как специалисты по обеспечению безопасности на рабочем месте должны сразу же узнавать о факте нарушения техники безопасности, было разработано приложение для мобильных устройств. Интерфейс предоставляет полный пакет информации о состоянии сотрудника и позволяет быстро реагировать в случае нарушения техники безопасности. Сам интерфейс простой

и интуитивно понятный пользователю. Он состоит из кнопок, обозначающих профили сотрудников. После нажатия на кнопку открывается страничка с данными о сотруднике. На данном этапе разработки программного обеспечения имеет множество недостатков. Дизайн программы минимален и незауряден. Не обдумывались средства защиты продукта. Используется минимальное количество данных о сотруднике (фамилия, имя, отчество, наличие сотрудника на работе, надета ли форма), хотя есть возможность добавления более подробной информации.

Программное средство для мобильного устройства возможно установить на любое устройство с ОС Android, у которого имеется Bluetooth-модуль.

Мы разработали прототип корпуса для устройства, которое может быть встроено в разнообразную спецформу, что делает его универсальным. Он защищает устройство от механических воздействий и контакта человека, обеспечивает частичную пылезащищенность. Имеет слабую влагозащищенность, вода может проникать через отверстия под датчик и вывод USB-разъема. 3D модель корпуса для печати была спроектирована в программе Компас-3D. Корпус легко печатается на 3D принтере из пластика и обеспечивает степень защиты IP52.

Возникает вопрос экономической выгоды покупки таких устройств.

Примерная стоимость аппаратной части оценивается:

- МК ATtiny24 – 85 руб.;
- считыватель RFID меток – 100 руб.;
- bluetooth модуль HC-06 – 140 руб.;
- инфракрасный датчик HC-SR501 – 60 руб.;

Итоговая цена 385 руб. за одно устройство. По сравнению со штрафами, предусмотренными за нарушение требований охраны труда законодательством, эта сумма в разы меньше.

Например, за несоблюдение и нарушение этих правил наступает ответственность в виде штрафа в размере от 2 до 5 тыс. руб. для должностных лиц и предпринимателей, от 50 до 80 тыс. для юридических лиц.

Дальнейшее развитие:

1. Использование датчиков, фиксирующих дополнительную информацию, например шум, загрязнение воздуха и т.д.

2. Добавление кнопок экстренного вызова, если с сотрудником что-то случилось.

3. Дополнение системы компонентами для определения местонахождения сотрудника на предприятии.

4. Доработка программного обеспечения.

Согласно статье 212 Трудового кодекса Российской Федерации ответственность за

предоставление безопасных условий и охрану труда возлагается на работодателя. Поэтому рынок средств охраны труда продолжает стремительно развиваться, активно внедряются технологии в одежду, делая ее «умной», тем самым упрощая работу и делая ее безопасной.

Решения проблемы разработки программно-аппаратного комплекса индивидуальной системы контроля наличия формы на сотруднике и его идентификации на рабочем месте также осуществлялись компаниями «Корпоративные Системы» и их система ZBLocation System [5], «GOODWIN» – система «Гудвин-Нева» [6], «Росомз» – система «умная каска».

БППУ ТАЛЕЖ от компании «GOODWIN» помимо определения местоположения и наличия средств индивидуальной защиты могут содержать датчики, отслеживающие состояние здоровья человека: датчики пульса, давления, датчик падения (обладают возможностью коммутации с такими устройствами, как фитнес-браслеты, кардиомониторы, метки на спецодежде); датчики, определяющие состояние внешней среды: температура, влажность, освещенность, загазованность, задымленность; обладают возможностью голосовой связи, двусторонней передачи сигнала SOS, передачи сообщений, а также циркулярного вызова, определяют активность (падение).

ZBLocation System относится к классу RTLS-систем (Real Time Location System) и строятся на базе RFID-технологий (радиочастотная идентификация). Данная система содержит беспроводные датчики в корпусах из ударопрочного пластика, закрепленные на строительных касках, а также базовые станции, которые располагаются на специальных мачтах. Технологические преимущества беспроводной сети ZigBee и программной среды, разработанной компанией «Корпоративные Системы», позволяют использовать эту сеть для передачи информации с различных датчиков и для управления различными системами. Также эта система позволяет контролировать нахождение сотрудников в опасных зонах, время присутствия персонала на работе, анализировать занятость персонала на объекте, имеет представления детального анализа по движению контролируемых объектов в разрезе чертежей, организаций, позволяет получать статистику за различные периоды.

Росомз разработал «умную каску» для обеспечения и соблюдения безопасного труда. Каска снабжена такими функциями [7]:

- определение наличия каски на голове;
- информация о серьезных ударах по каске;
- функция SOS «Мне нужна помощь»;

– факт неподвижности и падения сотрудника с высоты;

– измерение температуры внутри каски;

Каска синхронизируется с базовой станцией.

Компания UVEX TechWear занимается разработкой и внедрением умной системы индивидуальной защиты [8]. Но делается исключительно для касок. Есть производства, где нужно контролировать систему индивидуальной защиты на теле. Тогда их системы будут неудобны и будут иметь большие габариты.

Использование RFID-меток отдельно усложняет систему, нужно много считывателей, и дает лишь способ отслеживания перемещения, а также защиту от выноса за пределы предприятия. Метки не занимают много места, но не имеют возможности следить за соблюдением техники безопасности. Внедрение RFID-меток нересурсоемкое, в принципе, как и наше устройство [9].

Британская компания Eleksen оснастила рабочую одежду железнодорожников умной системой [10]. Она определяет расстояние между рабочим и приближающимся поездом и оповещает об этом как работника, так и машиниста поезда. Оснащена функцией оповещения руководства о любых происшествиях. Собирает данные о происшествиях и проведенных работах. Внедрена система геопозиционирования GPS/GSM и связи по радио.

Заключение

Данная система является вспомогательной по отношению к стандартным средствам безопасности, установленных на производствах, и ее задача заключается в отслеживании нарушений ношения формы.

По сравнению с моделью «умной каски» (Росомз) наше устройство в этом плане универсально, оно может связываться с мобильными устройствами, которые распространены, что делает ее более простой.

Также очень легко расширить ассортимент возможностей нашей системы путем добавления новых датчиков. Это позволяет скопировать любую функцию другого устройства в зависимости от требований. Таким образом можно исключить практиче-

ски все угрозы здоровью и жизни. Наша система обладает способностью контролировать приход и уход сотрудников по времени, а также идентифицировать личность. Она легко встраивается в любую одежду.

По сравнению с рассмотренными решениями разработанная нами система дешевле, способна идентифицировать сотрудника, а также, в отличие от решения, предлагаемого компанией «Корпоративные Системы», способна контролировать наличие формы на сотруднике. Наша система более универсальна, может оснащаться нужными датчиками в зависимости от требований и легко встраиваться в любое СИЗ, проста в реализации и дальнейшей эксплуатации.

В ходе выполнения работы было разработано устройство, интерфейс для оператора и получен прототип индивидуальной системы идентификации наличия формы на сотруднике.

Список литературы

1. Перечень профессий с вредными условиями труда по ТК РФ в 2019 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://mat-kap.ru/trudovoe-pravo/perechen-professiy-soderzhaschih-vrednye-usloviya-truda-v-2019> (дата обращения: 20.10.2019).
2. Модули последовательного интерфейса Bluetooth Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. URL: <http://s.siteapi.org/b2a66604b1dde25.ru/docs/e1cbdd2c04d9be85754a06960657672eee7acdc.pdf> (дата обращения: 20.10.2019).
3. Интернет-магазин. [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/besprovodnaya-s> (дата обращения: 20.10.2019).
4. Степень защиты ip67 и ip68 расшифровка. [Электронный ресурс]. URL: <https://smartphonus.com/степень-защиты-ip67-и-ip68-расшифровка> (дата обращения: 20.10.2019).
5. Компания «Корпоративные Системы». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.corsys.ru/info/cs.nsf/0/881E64842899EC30C4257B24003A80EA?OpenDocument> (дата обращения: 20.10.2019).
6. Гудвин-Нева. [Электронный ресурс]. URL: <http://goodwin.ru/basic-solution/goodwin-neva> (дата обращения: 20.10.2019).
7. Росомз. «Умные каски» [Электронный ресурс] URL: <https://getsiz.ru/rosomz-sozdal-umnye-kaski.html> (дата обращения: 20.10.2019).
8. Умная система индивидуальной защиты. UVEX TechWear. [Электронный ресурс]. URL: <https://getsiz.ru/umnye-veshhi-uvex.html> (дата обращения: 20.10.2019).
9. RFID одежды и автоматизация учета спецодежды и вещей. [Электронный ресурс]. URL: <https://go-rfid.ru/primenenie/uchet-specodezhdi-i-belya> (дата обращения: 20.10.2019).
10. «Умные» СИЗ для железнодорожников. [Электронный ресурс]. URL: <https://getsiz.ru/umnye-siz-dlya-zheleznodorozhnikov.html> (дата обращения: 20.10.2019).

СТАТЬЯ

УДК 004.08

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Попов С.В.

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

Получившая известность задача извлечения знаний (*data mining*) имеет как теоретическое значение, так и практический смысл. В теоретическом плане представляет интерес разработка наиболее адекватных методов, которые применимы для поиска закономерностей. Практический аспект важен, так как всякое новое знание, обнаруженное среди большого массива данных, может обеспечить конкурентные преимущества. В статье предлагается новый метод обнаружения новых объектов, существование которых логически следует из имеющегося набора экспериментальных данных. Метод сводится к анализу совместимости признаков, в терминах которых описываются исследуемые данные, и основывается на следующей гипотезе. Если признаки совместимы в экспериментальных данных, то допускается их совместимость во всех объектах предметной области. Несовместимые признаки не могут встречаться одновременно ни в каких объектах предметной области. Тем самым появление новых объектов предметной области логически следует из имеющегося экспериментального набора. Показано, что описание новых объектов предметной области сводится к исследованию максимальных пустых подграфов так называемого графа ортогональности, который описывает несовместимость признаков, выводимую из экспериментальных данных. Показывается, что при заданном множестве P признаков, в терминах которых описываются экспериментальные данные, общее число объектов всей предметной области может определяться экспонентой от мощности множества P . Тем самым при достаточно скромном множестве экспериментальных данных, в них может быть зашифрована объемная предметная область, которая может быть однозначно восстановлена.

Ключевые слова: извлечение знаний, предсказание новых объектов, графы, предметные области, пустые подграфы, базис графа

PREDICTION PATTERNS

Popov S.V.

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

The well-known problem of knowledge extraction (*data mining*) has both theoretical and practical significance. In theoretical terms, it is interesting to develop the most appropriate methods that are applicable to the search for patterns. The practical aspect is important, because any new knowledge found among a large array of data can provide a competitive advantage. The article proposes a new method of detecting new objects, the existence of which logically follows from the existing set of experimental data. The method is reduced to the analysis of compatibility of features, in terms of which the data are described, and is based on the following hypothesis. If the features are compatible in the experimental data, their compatibility is allowed in all objects of the subject area. Incompatible features can not occur simultaneously in any objects of the subject area. Thus, the emergence of new objects of the subject area logically follows from the existing. It is shown that the description of new objects of the domain is reduced to the study of the maximum empty subgraphs of the so-called orthogonality graph, which describes the incompatibility of features derived from the experimental data. It is shown that for a given set of P features, in terms of which the experimental data are described, the total number of objects of the entire domain can be determined by the exponent of the power of the set P . Thus, with a fairly modest set of experimental data, they can be encrypted volume domain, which can be uniquely restored.

Keywords: knowledge extraction, prediction of new objects, graphs, subject areas, empty subgraphs, graph basis

Получившая в последнее время широкую известность задача «Извлечение знаний» (англ.: *data mining*) формулируется так [1, 2]. Имеется достаточно объемный банк данных, в котором, как предполагается, присутствуют априори не известные, не тривиальные, практически значимые и интерпретируемые в предметной области закономерности, которые необходимо сформулировать явно. К такой постановке относится большое число задач бизнеса, науки, технологии. Все они имеют практическую значимость, так как в условиях конкуренции их решение может привести к дополнительным технологическим, научным или конкурентным преимуществам. Понятно, что используемые термины носят достаточно нечеткий характер.

Так под неизвестными закономерностями понимаются новые, а не сведения, подтверждающие уже полученные. Нетривиальные – которые нельзя просто обнаружить при непосредственном визуальном анализе данных или вычислении простых статистических характеристик. Практическую значимость уточнить затруднительно, поэтому полагаем, что этот термин базируется на здравом смысле [3].

Разнообразие методов извлечения знаний в настоящее время весьма значительно. Каждый из них базируется на определенной методике и применим в той или иной конкретной ПО при решении тех или иных задач. В этой статье приводится еще одно решение упомянутой задачи, которое может

оказаться практически значимым в случаях, как представляется, неполного определения *предметной области* (ПО), когда имеется предположение, что множество имеющихся данных может быть расширено за счет новых.

Вначале сформулируем, как на содержательном уровне понимается задача определения закономерностей по имеющемуся набору данных. Пусть имеется некоторая совокупность данных, назовем их *экспериментальными*, которая относится к определенной ПО. Каждое из них представляет собой некоторый объект ПО, который удалось наблюдать, например, в результате экспериментов. И для этих данных необходимо установить описывающую их закономерность. Здесь задача установления закономерности понимается как возможность предсказать, какие еще объекты ПО могут возникнуть и какие нет. Конечно, вопрос о наличии новых объектов решается с некоторой неопределенностью, так как имеющиеся данные могут быть неполными, что может повлечь ошибку предсказания. Предсказание может осуществляться на основе различных критериев, дающих разные результаты. В этой статье мы рассмотрим предсказание на основе так называемого *отношения ортогональности признаков*, которыми характеризуются объекты ПО.

Цель статьи состоит в том, чтобы описать метод предсказания существования новых данных ПО, основываясь на имеющихся экспериментальных данных. Кроме того, в статье устанавливается, какое количество новых объектов может содержать ПО в зависимости от мощности множества экспериментальных данных.

Описание данных графами ортогональности

Теперь изложим те же соображения формально. Пусть имеется множество P независимых признаков, в терминах которых описываются объекты ПО. Каждый объект характеризуется подмножеством $O \subseteq P$ признаков. Количество признаков у объекта не фиксировано, и они никак не упорядочены. Пусть O есть множество объектов, которые составляют подмножество всевозможных объектов ПО. Назовем эту совокупность – *экспериментальными данными*. В экспериментальных данных нас интересуют лишь нетривиальные объекты, т.е. содержащие не менее двух признаков. Задача состоит в том, чтобы, основываясь на имеющейся совокупности O , для множества $O' \subseteq P$ признаков установить, может ли оно представлять некоторый объект ПО. Тем самым задачу извлечения знаний мы понимаем как построение

объектов, наличие которых в ПО логически следует из экспериментальных данных.

Будем исходить из допущения *полноты* экспериментальных данных: если два признака $p_1, p_2 \in P$ не встречаются одновременно в одном объекте из O , то они не встречаются одновременно ни в одном объекте ПО. Такие признаки назовем *ортогональными*. В противном случае, если они принадлежат хотя бы одному экспериментальному объекту, – *совместимыми*. То есть любые совместимые признаки $p_1, p_2 \in P$ обязательно встречаются хотя бы в одном экспериментальном объекте.

Используемая нами гипотеза для предсказания принадлежности нового объекта ПО состоит в следующем: *объект представляется всяким подмножеством признаков, среди которых нет ни одной пары ортогональных*. Ее назовем *2-гипотезой*, так как она касается вхождения в один объект пары неортогональных признаков, и чтобы отличать ее от других гипотез, которые будут сформулированы далее. Таким образом, никакая пара ортогональных признаков не может входить в описание объекта рассматриваемой ПО.

Построим по совокупности O экспериментальных данных граф G_O *ортогональности*: его узлами являются признаки множества P поименованные также, два узла смежные в том случае, если соответствующие признаки ортогональные [4]. Очевидна следующая теорема.

Теорема 1. *Каждому объекту экспериментальных данных O в графе G_O ортогональности соответствует пустой подграф.*

Однако не каждому пустому подграфу соответствует объект в множестве O экспериментальных данных. Может сложиться ситуация, когда нетривиальный пустой подграф графа ортогональности не определяет объекта из экспериментальных данных. Если пустой подграф $E \subseteq G_O$ не определяет объекта, принадлежащего экспериментальным данным, то назовем совокупность узлов этого подграфа – *потенциальным объектом*. Покажем, что наличие потенциального объекта в предметной области *не противоречит 2-гипотезе*.

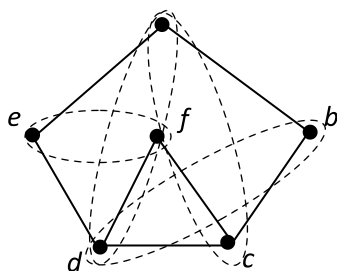
Введем следующее определение.

Пусть G_O есть граф ортогональности с множеством P узлов. *Базисом* для G_O назовем множество максимальных пустых подграфов, полностью определяющих отношение смежности узлов в G_O . Очевидно, что *подграфы базиса графа G_O покрывают все узлы множества P* . Базис называется *не избыточным*, если из него нельзя выбросить ни одного пустого подграфа без нарушения свойства быть базисом.

Базисы графа ортогональности имеют непосредственное отношение к имеющимся экспериментальным данным. Экспериментальные объекты в совокупности определяют несколько избыточных базисов графа ортогональности. Если экспериментальные данные определяют совокупность E базисов построенного графа ортогональности, то заключение о принадлежности ПО нового объекта, не содержащегося в экспериментальных данных, вытекает из допущения, что совокупность E включает базис для графа ортогональности, который можно построить по всей ПО, а не только по экспериментальным данным. А так как базис однозначно определяет граф, то построенный граф G_O и есть граф ортогональности для всей ПО. Тем самым закономерности экспериментальных данных распространяются на все ПО. На этом основывается предсказание наличия в ПО объектов, которых нет среди экспериментальных.

Пример 1. Рассмотрим совокупность экспериментальных данных $O = \{ac, bd, ad, ef\}$ над множеством признаков $\{a, b, c, d, e, f\}$. Построенный по совокупности O граф ортогональности G_O выглядит как на рисунке. В нем пунктиром выделены все пустые подграфы, определяемые экспериментальными данными. Нетрудно увидеть, что они образуют (избыточный) базис. Возникает вопрос: за счет каких объектов можно расширить множество O , не вызывая противоречия с 2-гипотезой. Присутствие новых объектов ПО должно логически следовать из имеющихся экспериментальных данных и 2-гипотезы.

В графе G_O можно отметить следующие нетривиальные максимальные пустые подграфы, которые не вошли в приведенный базис: af, bfe . Таким образом, в соответствии с 2-гипотезой, ПО может быть пополнена включением в нее двух новых объектов af, bfe . И такое пополнение является следствием экспериментальных данных и 2-гипотезы. В свою очередь 2-гипотеза есть следствие того, что экспериментальные данные обладают свойством полноты, т.е. содержат все соотношения ортогональности признаков, которые наличествуют в ПО.



Граф ортогональности с выделенным базисом

О числе новых объектов, определяемых экспериментальными данными

Естественно возникает желание оценить число новых объектов ПО, которые не являются экспериментальными, но могут быть включены в ПО, основываясь на 2-гипотезе. Здесь будем рассматривать те объекты, которые определяются максимальными нетривиальными пустыми подграфами графа ортогональности, построенного по экспериментальным данным. Понятно, что, решив задачу в такой постановке, без труда удастся причислить к ПО и объекты с меньшим числом признаков, соответствующие не максимальным пустым подграфам.

Введем такое определение. Пусть каждый узел из подграфа E_1 совпадает или смежный с некоторым узлом из E_2 . В этом случае говорим, что подграф E_1 смежный с E_2 . Очевидно, что граф E_2 может не быть смежным с E_1 . То есть такое отношение смежности несимметрично. Поэтому потребуем, что каждый узел из E_2 совпадает или смежный с некоторым узлом из E_1 . В этом случае говорим, что пара графов E_1 и E_2 смежная, а все ребра инцидентные одновременно узлам E_1 и E_2 назовем их *ребрами смежности*. Такое отношение смежности симметрично.

Очевидны следующие утверждения.

Теорема 2. Если B есть базис графа G , то каждая пара его подграфов смежная. Для любых узлов v_1, v_2 графа G и всякого его базиса B либо они принадлежат одному подграфу этого базиса, либо разным подграфам, и тогда они соединены ребром. Пусть $\{E_1, E_2, \dots, E_q\}$ есть не избыточный базис. Тогда любой подграф $E_i, i \in \{1, 2, \dots, q\}$ не покрывается остальными подграфами базиса.

Если E_1 и E_2 суть максимальные, нетривиальные пустые подграфы графа ортогональности, то они смежные. Содержательно это понимается так: подграфы E_1 и E_2 определяют разные объекты, которые разделяются хотя бы одной парой ортогональных признаков. Хотя остальные признаки этих объектов могут совпадать.

Так как в избыточном базисе $\{E_1, E_2, \dots, E_q\}$ каждый граф содержит хотя бы один узел, который не содержится во всех остальных, то при рассмотрении избыточных базисов можно ограничиться базисами с числом подграфов не более n , где n – число узлов.

Известно, что всякая матрица смежности размера $n \times n$ описывает не менее чем $2^{(n-1)^2/2n!}$ различных не изоморфных графов с n узлами.

Каждое подмножество $P' \subseteq P$ узлов графа, где $n = |P|$, определяет максимальный

пустой подграф, узлы которого образуют множество P' . Тогда во всех графах с n узлами число различных максимальных пустых подграфов равно 2^n .

Так как *разные графы имеют несовпадающие базисы*, то, если из произвольного графа G удалить или добавить ребро, в результирующем графе G' ни один базис не совпадает ни с одним базисом графа G . Отсюда следует такое утверждение.

Теорема 3. *Почти каждый граф с n узлами обладает неизбыточным базисом, мощность которого по порядку равна n .*

Доказательство. Будем порождать все графы числом $2^{(n-1)2}/2n! = 2^{c \ln 2}$, определяя для каждого неизбыточный базис. Для первого элемента базиса подходит один из 2^n максимальных пустых подграфов. Для второго $2^n - 1$, и т.д. Для того, чтобы таким способом породить все $2^{c \ln 2}$ графов с n узлами, нам потребуется выбрать порядка n элементов базиса. Отсюда следует, что почти каждый граф с n узлами обладает неизбыточным базисом мощности порядка n .

Теорема доказана.

Таким образом, если принять 2-гипотезу, то $n = |P|$ объектов могут определить все объекты ПО, которые можно описать в терминах признаков P . Для этого достаточно найти неизбыточный базис, который определяет граф ортогональности. И затем по построенному графу ортогональности построить все объекты ПО, определяемые максимальными пустыми подграфами.

Естественно возникает вопрос, сколько объектов может быть в ПО, чтобы определяемый ею граф ортогональности совпадал с графом ортогональности, построенным по экспериментальным данным. Как мы показали, нахождение пустых подграфов в произвольных графах имеет немалое прикладное значение в плане извлечения новых знаний. В связи с этим интерес представляет такое утверждение.

Теорема 4. *Существует граф ортогональности с n узлами, в котором имеется не менее 2^{cn} пустых подграфов, где c – некоторая положительная константа.*

Построение такого графа ортогональности основывается на так называемых графах-расширителях, которые характеризуются следующим свойством [5]. Для каждого подграфа с t узлами в графе расширителе его граница имеет число ребер, сравнимое с t . Это свойство расширителей позволяет строить сложные объекты, по сравнительно простым спецификациям. В частности, удается построить логические выводы и множества единичных означиваний экспоненциальной сложности от длины логических формул.

Таким образом, если экспериментальные данные определяют базис графа ортогональности всей ПО, то в некоторых случаях они могут быть расширены за счет новых объектов, число которых определяется экспонентой от числа признаков, в которых описываются объекты. И тогда получаем, что информация, представленная в экспериментальных данных, при принятии 2-гипотезы, оказывается достаточной, чтобы построить весьма объемную предметную область.

N-гипотеза

Однако возможна ситуация, когда из множества $n \geq 3$ признаков каждые $n - 1$ попарно совместимые, но все n не встречаются ни в одном объекте из экспериментальных данных O . В этом случае 2-гипотеза оказывается слабой, чтобы только на ее основании прогнозировать наличие объектов в ПО, которых нет в экспериментальных данных. В этом случае необходимо усилить эту гипотезу до n -гипотезы, которая запрещает в отдельных случаях одновременное вхождение n признаков. Для конкретности, будем рассматривать ситуацию, когда $n = 3$ и следующим образом формулируем 3-гипотезу. Случаи, когда $n > 3$, восстанавливаются аналогично.

Пусть признаки a, b, c попарно не ортогональные, однако в экспериментальных данных не встречаются одновременно в представлении ни одного объекта. Если обозначить A высказывание: «признак a встречается в описании объекта O », B : «признак b встречается в описании объекта O », C : «признак c встречается в описании объекта O », то высказывание «признаки a, b, c не встречаются одновременно в описании одного объекта» представляется формулой: $F_3(A, B, C) = A(B \oplus C) \vee B(A \oplus C) \vee C(A \oplus B)$. Действительно, если признак a встречается в описании объекта, то признаки b и c не могут встретиться в его описании одновременно. Аналогично для двух других признаков b, c . Тривиальный случай, когда ни один из признаков не встречается в описании объекта, не рассматривается, как не представляющий интереса. Для случаев большего числа признаков подобный критерий строится рекурсивно. Следует отметить, что установление выполнимости этой и подобных ей формул для большего числа признаков осуществляется проверкой на пустых подграфах графа ортогональности и поэтому не требует большого перебора.

Тогда 3-гипотеза выглядит так: если для попарно не ортогональных признаков a, b, c верно, что они не встречаются в представлении ни одного объекта экспериментальных данных, то они не встречаются

в представлении ни одного объекта ПО. Для того, чтобы удостовериться в верности этой гипотезы для всякого набора признаков, необходимо удостовериться в ее истинности для каждой тройки признаков из множеств, определяемых пустыми подграфами графа ортогональности G_O .

Таким образом, проверка 2-гипотезы сводится к проверке совместимости троек признаков из максимальных пустых подграфов графа ортогональности.

Заключение

Решена задача предсказания принадлежности объектов предметной области в соответствии с так называемой n -гипотезой ($n \geq 2$). Последняя предполагает, что экспериментальные данные, в которых осуществляется поиск закономерностей, позволяют

сделать вывод о совместимости признаков объектов во всей предметной области. Тем самым логически обосновывается наличие объектов, которых нет в экспериментальных данных, но добавление которых не противоречит им.

Список литературы

1. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+ CD). СПб.: Изд. Питер, 2010. 624 с.
2. Журавлёв Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Изд. «Фазис», 2016. 176 с.
3. Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3rd Edition. Morgan Kaufmann. 2011. P. 664.
4. Попов С.В. Синтез предметных областей. Решение одного класса переборных задач. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. 96 с.
5. Гашков С.Б. Графы-расширители и их применения в теории кодирования. М.: МЦНМО, 2009. С. 70–122.

СТАТЬЯ

УДК 621.317.75

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ИМИТАЦИИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИВОДА****Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Мендикенов К.К., Оразбеков Д.Е., Левщанов Р.В.***Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kakim08@mail.ru*

Спроектированы и изготовлены полноразмерные макеты приводного, поворотного, натяжного рештаков поворотного конвейера в комплектации с мотором-редуктором, насосной станцией и гидро-оборудованием. Ранее был испытан макет масштабом 1:3, исследованы и подтверждены возможности разворота става на любом рештаке на угол до 90 градусов. Конвейер перемещался за комбайном и был связан с ним гибкой связью. Каждый из рештаков последовательно разворачивался на угол до 15 градусов. Схема выполнена для применения с камерной технологией выемки пластов твердых минералов, залегающих в сложных условиях. Обоснована устойчивость движения системы скребков тягового органа из круглозвенной цепи с имитацией аварийных состояний и восстановлением нормального положения скребков, при движении скребков через зазоры между рештаками. Это позволяет выявить и утвердить основные параметры конвейера, разворачивающегося в обе стороны на 90 градусов. Для имитации нагрузки на конвейер кроме использования насыпного груза разработан имитатор нагружения (ИН) в виде колодочного тормозного устройства на шкиве вала натяжной звездочки выдвижной платформы. На основе пакета динамического моделирования Adams выполнена модель нагружения и уточнены методические особенности расчета его возможностей. ИН спроектирован, изготовлен, проведена его проверка при запуске полноразмерных, скомплектованных в единый макет, трех основных типов рештаков поворотного конвейера. Сформулированы особенности контроля нагружения конвейера с применением гидравлических датчиков давления и датчиков сжатия.

Ключевые слова: полноразмерные макеты, модели, гидравлическое оборудование, имитатор нагрузки

DESIGN FEATURES OF THE DEVICE FOR SIMULATION OF DRIVE LOADING**Beysembaev K.M., Malybaev N.S., Mendikenov K.K., Orazbekov D.E., Levschanov R.V.***Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: kakim08@mail.ru*

Designed and manufactured full-size models of the drive, rotary, tension sections of the rotary conveyor complete with gear motor, pump station and hydraulic equipment. Previously, a 1:3 scale model was tested, the possibilities of turning the stake on any reshtak at an angle of up to 90 degrees were investigated and confirmed. The conveyor moved behind the harvester and was connected to it by a flexible link. Each of the sections was rotated sequentially at an angle of up to 15 degrees. The scheme is designed for use with chamber technology of excavation of layers of solid minerals occurring in difficult conditions. Substantiates the stability of the system motion of the scrapers traction on from round-link chains with simulated emergency conditions and restore normal position of the scrapers, when the movement of the scrapers through the gaps between the sections. This allows you to identify and approve the main parameters of the conveyor, turning in both directions at 90 degrees. To simulate load on the conveyor in addition to using bulk cargo developed simulator loading (LS) a drum brake device on the pulley shaft idler sprocket retractable platform. On the basis of the Adams dynamic modeling package, a loading model is performed and the methodological features of calculating its capabilities are refined. LS is designed, manufactured, tested when running full-size, assembled into a single layout, the three main types of sections of the rotary conveyor. The features of conveyor loading control using hydraulic pressure sensors and compression sensors are formulated.

Keywords: full-size models, models, hydraulic equipment, load simulator

При проектировании конвейеров встает вопрос об устройстве имитации нагрузки (ИН) на мотор-редуктор. Использование же насыпного груза замедляет проведение испытаний. Ряд процедур при испытаниях можно решить и без использования громоздких способов, характерных при использовании насыпных грузов. Эти вопросы особенно актуальны при испытаниях поворотных конвейеров, когда на один из бортов воздействуют торцы скребков, проходящих зону поворота между состыкованными рештаками [1, 2], поскольку требуется проводить большие объемы измерений. Нагрузки на борт определяются

усилием в тяговой цепи и могут в несколько раз превосходить те, которые возникают в плоскости основания конвейера от веса груза. Причем их значения во времени могут характеризовать и особенности работы привода [3]. Это особенно важно для конвейеров, работающих в сложных условиях очистных забоев, когда особое значения приобретают возможности моделировать процессы добычи и транспортирования груза [4].

Цель исследования: исследование особенностей имитации нагружения привода и расчет конструктивных элементов поворотного конвейера.

Материалы и методы исследования

Рассматриваются конструктивные схемы, проектирование и моделирование поворотного конвейера, его узлы, обеспечивающие нагружение привода, применение системного анализа ранее выполненных работ в этой области, а также данные получаемые при видеонаблюдениях и из результатов графического и имитационного моделирования движения деталей и работы установки, а также моделирования в пакете программирования динамических задач Adams [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

В опытах углы между соседними решетками достигали 30 градусов и более, но в конструкции поворотного конвейера они будут меньше, не превышая 15 градусов. Поскольку возникает трение между скребками и бортами, то скребок в результате торможения, переходя границу между решетками, наклоняется, но его опрокидывания не происходит, поскольку в противолежащих друг другу ушках крепления звена к цепи возникают силы, создающие восстанавливающий момент (рис. 1), поэтому при достаточном натяжении цепи происходит восстановление положения скребка. Причем использование ИН (рис. 2) позволяет резко увеличить нагрузку на цепь. Восстановление происходит и при достижении больших углов поворота скребка. Для чего на макете производилась имитация аварийных состояний, когда через зазоры между решетками происходило зацепление листа борта со скребком вплоть до его срыва и смятия (рис. 1, а–в). Заметим, что в этом случае скребки имели крюкообразную суженную часть, которыми захватывался лист, в то время как для скребков с плоскими закругленными торцами этого не происходило. Конструктивные схемы с зазором наиболее просты, и для них направление транспортирования может реализоваться в обе стороны за счет реверса двигателя. Как было установлено ранее, центрально-расположенная цепь приводит к колебаниям в двух взаимно перпендикулярных плоскостях [2], что предъявляет особые требования к конструкции бортов для беспрепятственного прохождения скребков и, особенно в зонах поворота со стороны бортов максимально удаленных от центра поворота, где в свободном пространстве возможен подъем скребка и его столкновение с бортом решетки (поэтому здесь борта выполнены, приподнято-наклонными (рис. 3)).

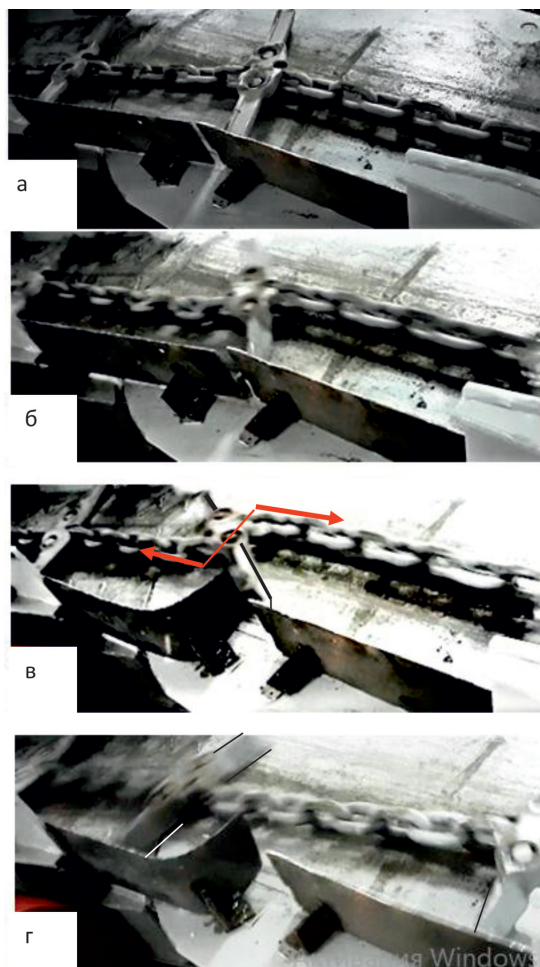


Рис. 1. Имитация аварийной ситуации и самовосстановление при движении скребка через зазор: а) скребок перед зазором; б) скребок смещен в зазор и наклонен; в) смятие борта; г) выравнивание скребка после смятия

ИН укреплен на подвижной платформе натяжной звездочки со стороны, выдвинутой из подшипниковой коробки вала со шкивом. К нему с помощью рычажного механизма 9 и винта 10 прижимаются тормозные колодки 11, усилие поджатия которых контролируется стрелочным индикатором 12 (рис. 2, б). Расчет усилия поджатия и параметров устройства производится в пакете динамического программирования Adams (рис. 2, а). Это позволяет получить силу прижатия на колодках, а следовательно, и момент торможения на валу звездочки и цепи, и дополнительную нагрузку на привод. С увеличением давления на тормозные колодки, увеличивается натяжение цепи, а в зоне поворота и давление торцов скребков на борт. Фиксация давления может производиться датчиками сжатия через

круговые отверстия в борту, когда сферическая часть датчика, выставленная в отверстие, поджимается движущимся скребком (рис. 3). После освобождения она вновь выдвигается на исходную позицию и позволяет фиксировать следующий элемент. Амплитуды давления зависят от режима движения скребка его колебаний и накло-

нов. Усложнение конструкции конвейеров и применение гидравлических элементов с встроенными датчиками давления и сжатия позволяет повысить уровень универсальности системы управления, особенно при наличии процедур обработки данных, позволяющих дифференцировать составляющие элементы суммарных процессов.

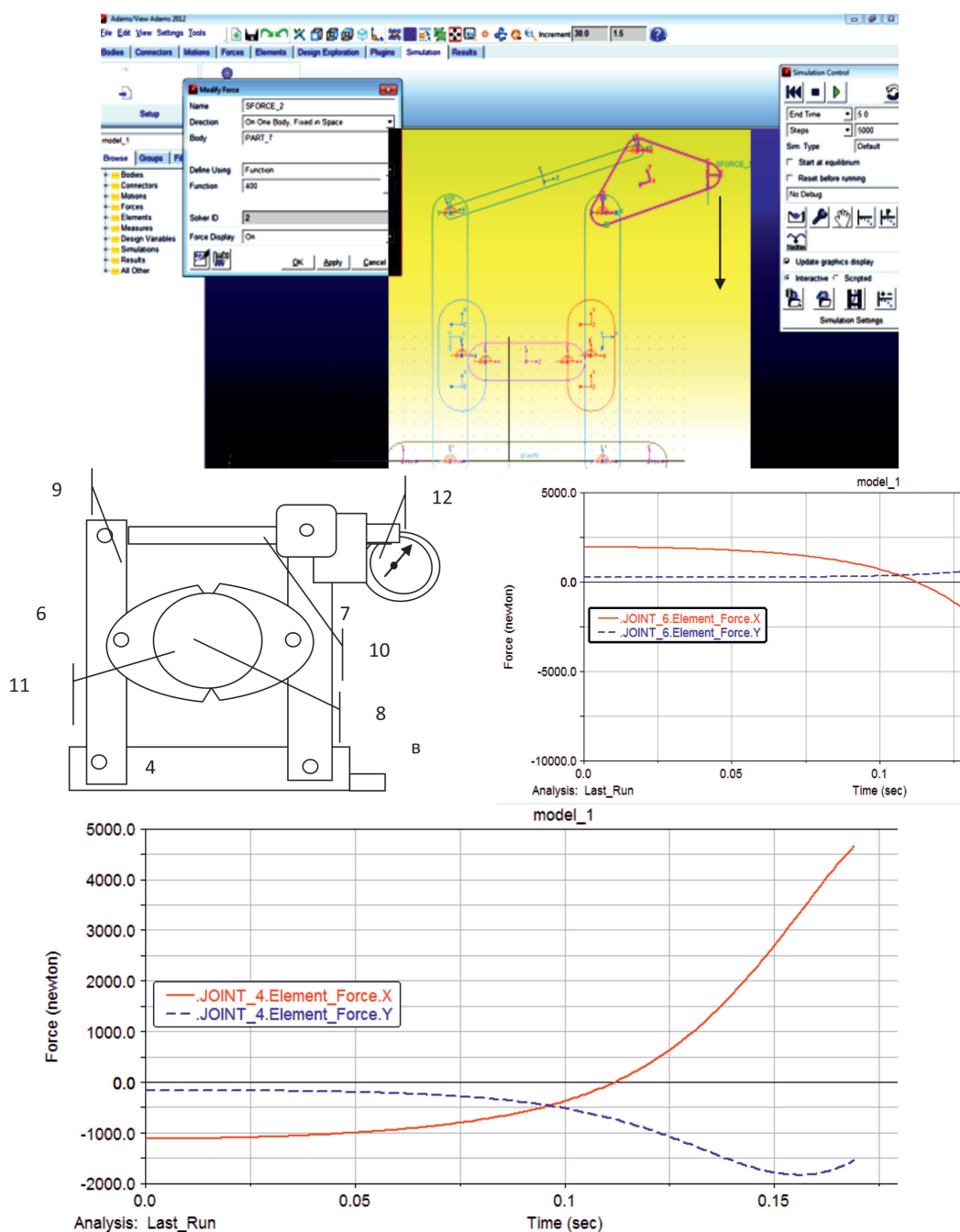


Рис. 2. Схема ИИ и моделирование нагружения: моделирование в Adams (фото с экрана ПК):
а) окно симуляции; в, г графики опорных реакций по X и Y в шарнирах; б) схема ИИ:
1, 4, 6, 7 – шарниры, 8 – шкив, 9 – рычаг, 10 – винт, 11 – колодки, 12 – индикатор

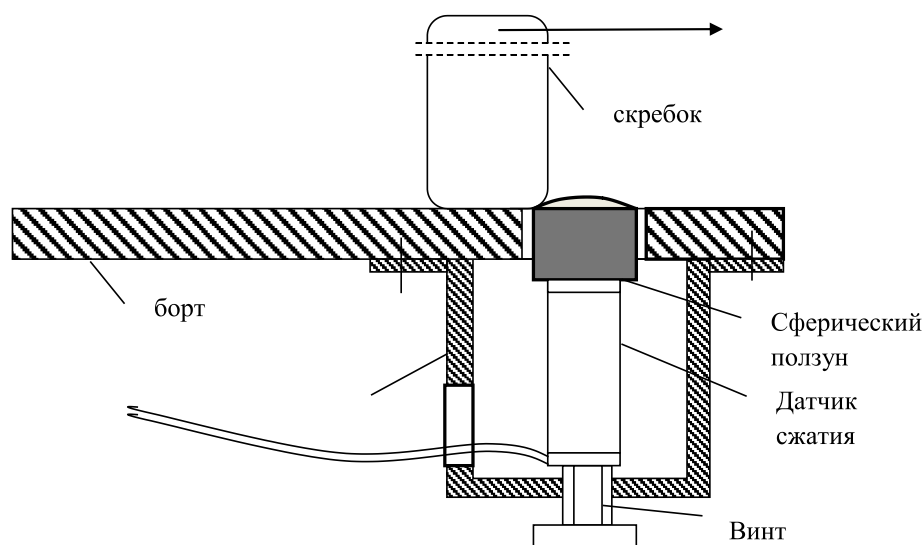


Рис. 3. Элементы контроля нагруженности поворотного конвейера

Исходя из ранее выполненных работ, усилие прижатия скребка к борту возрастает при подходе к стыку рештаков, причем избежать прохождения им неровностей не удастся и при конструктивных схемах с прикрытием зазоров упругими пластинками [1], поскольку в этом случае имеются стыки между пластинкой и бортом. В зонах контакта при скольжении скребков или при качении опорных роликов возникают высокие напряжения, вызывающие пластические деформации, которые характеризуются процессами приведенными в [7]. Их описание возможно на основе приведенной методики или за счет стандартного для Ansys приложения ContactWizard. Методика объемного моделирования приводилась и ранее, а для плоской схемы можно использовать два типа конечных элементов типа Plane182 и Plane42, используя большие возможности моделирования упругих или упругопластических свойств материалов контактных пар, задавая в том числе и их существенно отличные значения с целью подбора рациональных значений из условий прочности и технологичности их конструкции. Полноразмерный макет из приводного, поворотного и натяжного рештаков изготовлен и апробирован (рис. 4), его исследования позволяют уточнить конструктивную схему поворотного конвейера.

Заключение

Для привода скребкового тягового органа используются асинхронные элект-

рические двигатели. Расчет привода производится с учетом дополнительного сопротивления движению скребков на повороте, при этом тяговое усилие кроме известных факторов, таких как вес транспортируемого груза, определяется углом поворота направления транспортирования и возрастает с его увеличением. Обычно при длине конвейера 30–50 м и его использования для транспортирования груза в очистных забоях зона поворота одна, представлена 5–6 секциями. Укорочение секций позволяет решить вопрос повышения гибкости конвейера и, в частности, в плоскости нормальной к плоскости транспортирования за счет изгиба гибких секторных пластин, установленных под средними листами. При этом угол поворота на каждой секции и, соответственно, межсекционные зазоры уменьшаются.

Устройство для имитации нагрузки на приводные звездочки в виде тормозного механизма для шкива звездочки позволяет имитировать тяговое усилие цепи и соответственно имитировать степень загрузки конвейера. При этом увеличивается и давление на борта от скребков в зоне поворота. Силовой режим работы в этом случае соответствует увеличению груза на полотне конвейера, но запас устойчивости скребков несколько уменьшается поскольку фактор «сдерживания» скребка грузом, когда скребок с обеих сторон от цепи окружен материалом, гасящим колебания, не присутствует, т.е. скребки работают в усложненных условиях.

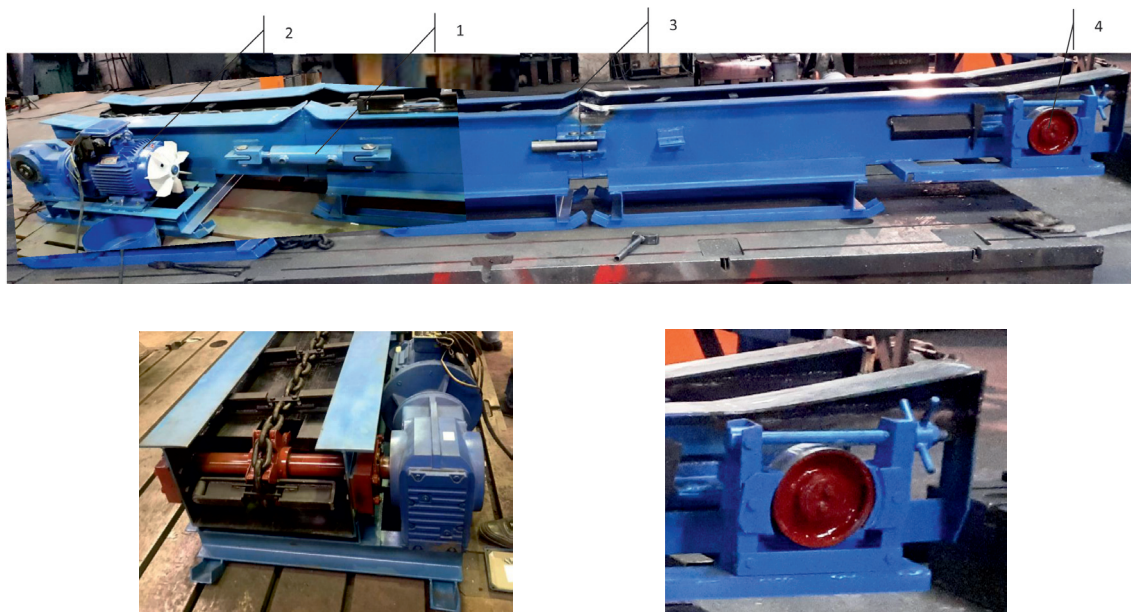


Рис. 4. Нагрузочное устройство на полноразмерном макете комплекса приводного, поворотного и натяжного рештаков: а) общий вид: гидродомкрат поворота 1, мотор-редуктор 2, наклонно-подъемные борты, ИН 4 3; б) вид со стороны привода; в) нагрузочное устройство с тормозными колодками и винтом

ИН представляет собой многорычажную шарнирно соединённую систему, которая моделируется в Adams, при этом вычисляются усилия на тормозных колодках, что с учетом данных на индикаторе усилия натяжения винтового устройства позволяет определять тормозной момент.

Параметры давления скребков на борт конвейера множественны и представляют широкий спектр нагружения скребка с учетом его поперечных и продольных колебаний, включая и зависимости от усилия тяговой цепи.

Список литературы

1. Андрейко С.С., Перминов К.М. Разработка технологии добычи калийной руды с применением изгибающегося конвейерного поезда // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 3. С. 4–9.
2. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Мендикенов К.К., Телиман И.В., Акижанова Ж.Т. Моделирование

работы скребкового конвейера в зоне поворота // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 108–117. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-108-117.

3. Осичев А.В., Ткаченко А.А. Оценка влияния приводной звездочки на динамические усилия в рабочем органе скребкового конвейера СР72 // Вестник КГПУ имени Михаила Остроградского. 2009. № 4 (57). Часть 1. С. 10–13.

4. Gaofeng Song, Yoginder P. Chugh; Jiachen Wang. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China. Int. J. of Mining and Mineral Engineering. 2017. Vol. 8. No. 1. P. 35–55.

5. Dragos A., Gheorghe S. The determination of the velocities and of the accelerations of action belonging to the parallel robots with delta 3 d of structure using the software msc. Adams package. Journals, Reviews and Scientific Publications from University of Bacau. 2013. V. 3. № 1. P. 17–20.

6. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M.M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO. Journal of AI and Data Mining. 2014. Vol. 2. no. 2. P. 125–133.

7. Sidorová M., Beysembayev K.M., Shmanov M.N., Mendikenov K.K., Esen A.M. Plastic Flow Modeling in Rock Fracture. Acta Montanistica Slovaca. 2018. Vol. 23. No. 4. P. 357–367.

ОБЗОР

УДК 681.2.083

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ
И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ****Гашенко Ю.В., Астапов В.Н.***ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара,
e-mail: juliasarbitova@gmail.com*

В настоящее время большое внимание уделяется разработке совершенно новых средств измерения, основной развития которых является последние достижения науки и техники и применение совершенно новых принципов измерения и преобразования. Среди большого перечня средств измерения и контроля одну из главнейших позиций занимают измерители плотности, так как плотность нефтепродуктов определяет такие важные показатели, как состав и свойства веществ. Соответственно, применение плотномеров на нефтеперерабатывающих предприятиях может послужить источником основной информации о протекании технологических процессов и их параметрах. В данной статье рассматриваются основные способы и методы измерения плотности жидкостей, такие как вибрационные, весовые, поплавковые, гидростатические, ультразвуковые, силовые, вихревые и радиоактивные. Наиболее распространенными лабораторными методами измерения плотности нефти и нефтепродуктов являются ареометрический, вибрационный и пикнометрический. Описаны некоторые методы измерения плотности, применяемые в ведущих мировых компаниях по производству плотномеров, а также запатентованные методы, разработанные в различных институтах Великобритании, США, Франции, России и других стран. Описаны принципы работы приборов, их основные метрологические характеристики, полученные вследствие исследований, а также достоинства, недостатки и области их применения.

Ключевые слова: ареометр, нефтенсиметр, вибрационный плотномер, ультразвуковой плотномер, радиоактивный плотномер, поплавковый плотномер, плотность нефтепродуктов

**ANALYTICAL REVIEW AND RESEARCH OF DEVICES AND METHODS
FOR MEASURING LIQUID DENSITY****Gashenko Yu.V., Astapov V.N.***Samara State Technical University, Samara, e-mail: juliasarbitova@gmail.com*

Currently, much attention is paid to the development of completely new measuring instruments, the development of which are the latest achievements of science and technology and the application of completely new principles of measurement and transformation. Among a large list of measuring and control instruments, one of the most important positions is occupied by density meters, since the density of oil products determines such important indicators as the composition and properties of substances. Accordingly, the use of densitometers at oil refineries can serve as a source of basic information about the flow of technological processes and their parameters. This article discusses the main methods and methods for measuring the density of liquids, such as vibrational, weight, float, hydrostatic, ultrasonic, power, vortex and radioactive. The most common laboratory methods for measuring the density of oil and oil products are areometric, vibrational and pycnometer methods. Some density measurement methods used in the world's leading density meter companies are described, as well as patented methods developed at various institutes in the UK, USA, France, Russia and other countries. The principles of operation of the devices, their basic metrological characteristics obtained because of research, as well as the advantages, disadvantages and areas of their application are described.

Keywords: hydrometer, oil densitometer, vibration densitometer, ultrasonic densitometer, radioactive densitometer, float densitometer, oil product density

В данный момент актуальной является задача измерения плотности пожароопасных жидкостей, а именно продуктов нефтедобычи и нефтепереработки с целью контроля качества сырья и готовой продукции [1]. Это позволяет сократить потери, а также повысить качество выпускаемой продукции в соответствии с международными стандартами. Соответственно, возникает проблема достижения высокой точности и достоверности процесса контроля, разработки принципиально новых первичных преобразователей (датчиков), с помощью которых осуществляется преобразование физических величин удобных для

обработки, передачи и отображения полученной информации.

Возможности современной элементной базы, достижений науки и техники, использующие качественно новые принципы преобразования, позволяют создавать измерительные устройства, обладающие широким спектром их применения, высокой точностью, помехозащищенностью и стабильностью полученных результатов.

Трудности создания методов и средств контроля плотности веществ во многом определяются особенностями этой области измерительной техники, основные из которых сводятся к большой номенклатуре

контролируемых веществ (жидкости, газы, многофазные потоки, сжиженные газы), широкому диапазону изменений параметров состояния (давление, температура) [2]. Следствием этого является большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в рассматриваемой области.

В современных измерительных системах применяется несколько способов измерения плотности жидкостных сред, которые приведены в данном исследовании. Целью исследования является изучение существующих принципов измерения плотности жидких веществ, особенностей конструкции плотномеров, а также их достоинств и недостатков для выявления перспектив улучшения характеристик систем измерения плотности, так как современная промышленность предъявляет повышенные требования к точности измерения, работоспособности в жестких условиях эксплуатации и обеспечению безопасности производства.

Вибрационные плотномеры

Преимуществами вибрационных приборов являются сравнительная простота, высокая точность и частотный выход сигнала.

В плотномере для жидкостей [3] чувствительный элемент представляет собой трубку, концы которой неподвижно закреплены и соединены при помощи эластичных переходных муфт с подводящей и отводящей магистралями. Под трубкой находятся три поляризованных электромагнита с П-образными сердечниками. Средняя катушка используется для возбуждения колебаний трубки. Крайние катушки соединены последовательно и подключены к входу усилителя. Усиленный сигнал подается на среднюю катушку, а также на частотомер, отградуированный в единицах плотности. Усилитель обеспечивает необходимый сдвиг по фазе второй гармоники напряженности поля средней катушки относительно полей двух других катушек. Для исключения удвоения частоты между полюсами сердечника катушки, возбуждающей колебания, помещена перемычка в виде постоянного магнита [4]. Такие перемычки имеются и у сердечников двух других катушек. Верхний предел измерения таких приборов 3 г/см^3 . Плотномеры такого типа производятся фирмой Solarton Schlumberger (Франция). Согласно исследованиям в различных средах, данные плотномеры дают воспроизводимость показаний $\pm 0,01 \%$, а влияние вязкости пренебрежимо мало.

Фирмой J. Agar (Великобритания) выпускается плотномер с вибратором в виде

пустотелого цилиндра, установленного в контролируемом потоке и совершающем колебания на резонансной частоте, которая зависит от плотности окружающей среды [5, 6]. Колебания возбуждаются с помощью цепи обратной связи, образованной приемной катушкой, усилителем и катушкой возбуждения. Диапазон измерения $0\text{--}100 \text{ г/л}$. погрешность не превышает $\pm 0,1 \%$ диапазона. Во избежание турбулентных шумов поток должен быть ламинарным, имеющим скорость не более 1 м/с для жидкостей и 3 м/с для газов.

Плотномер, выпускаемый фирмой Barton (США), применяется для измерения плотности жидкостей, пульп, газов и паров в диапазоне температур от -254 до $+120^\circ\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 0,25 \%$. Прибор содержит в качестве вибратора тонкую прямоугольную пластину, закрепленную в узловых точках [7]. Пластина совершает незатухающие колебания на резонансной частоте, возбуждаемой соленоидной катушкой с помощью схемы положительной обратной связи с электронным усилителем. Частота или период колебания служат мерой плотности. В измерительной схеме осуществляется линеаризация выходного сигнала. Градуировка производится путем определения трех коэффициентов уравнения второго порядка на образцовых жидкостях (например, вода, керосин и газолин) или газах.

Другой плотномер этого же типа вводится на гибком держателе в горизонтальный трубопровод с контролируемой средой (жидкость, газ) через патрубок, выступающий из трубопровода сверху. Вибратором является прямоугольная металлическая пластинка, зажата между двумя полуцилиндрами, запрессованными в цилиндрический корпус [8]. К внешней поверхности последнего присоединена перпендикулярно к плоскости вибратора трубка из магнетострикционного материала.

В месте стыка вибратора с полуцилиндрами установлен пьезоэлемент. Его выводы проложены в пазах полуцилиндров и проведены через внутреннюю трубку к дифференциальному усилителю, который размещен в головке датчика, полностью защищен от наводок со стороны подводящих проводов. Выходной сигнал подается на задающую катушку в фазе с колебаниями вибратора и образует положительную обратную связь электромагнитного генератора, колеблющегося на резонансной частоте. Последняя зависит от плотности среды, окружающей вибратор. Линеаризатор вырабатывает напряжение, прямо пропорциональное плотности. Оно изме-

ряется вольтметром, отградуированным в единицах плотности. Погрешность не превышает $\pm 0,1\%$ в диапазоне измерения $0,0014\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$.

Важное направление разработки вибрационных плотномеров связано с созданием бесконтактных приборов, в которых датчик размещается снаружи трубопровода. Получают дальнейшее развитие плотномеры с камертонным вибратором. Среди них наиболее чувствительны датчики в виде камертонных механических резонаторов [9]. Высокая добротность колебательной системы достигается за счет применения сдвоенного камертона, образованного двумя параллельными трубками, соединенными на концах. Сдвоенный камертон приводится в автоколебательный режим системой возбуждения, состоящей из электромагнитного возбуждателя, приемника колебаний и усилителя. Выходным сигналом является частота собственных колебаний камертона, определяемая плотностью измеряемой среды. Пределы измерения $0,69\text{--}1,05 \text{ г/см}^3$. Основная погрешность $\pm 1,5 \text{ г/см}^3$.

Аналогично выполнен плотномер фирмы Solartron Schlumberger (Франция). Частота на выходе сравнивается с частотой, задаваемой кварцевым генератором [10]. Сравнение осуществляется в цифровом виде электронной схемой на интегральных элементах. Прибор нечувствителен к внешним вибрациям и к колебаниям питающего напряжения. Погрешность определяется в основном первичной градуировкой и практически бывает менее $0,1 \text{ мг/см}^3$ в диапазоне плотностей $0,6\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$. Модификация электронной схемы позволяет приводить к стандартным условиям плотность нефтепродуктов вязкостью $0,5\text{--}200 \text{ сСт}$. В этом случае погрешность измерения в пределах $0,64\text{--}0,94 \text{ г/см}^3$ (с учетом коррекции по температуре и давлению) не превышает $\pm 0,5 \text{ мг/см}^3$ при $5\text{--}25^\circ\text{C}$ и $\pm 1 \text{ мг/см}^3$ при $0\text{--}75^\circ\text{C}$.

Разновидностью плотномеров с наружным возбуждением является прибор, выполненный как U-образная труба из магнитного материала с концами, жестко закрепленными в неподвижном цоколе [10]. Вблизи трубы расположены два электромагнита, создающие крутящий момент, который стремится вызвать закручивание трубы относительно ее продольной оси. При подаче в обмотки электромагнитов переменного тока возникают крутильные колебания трубы. В цоколь встроены пьезоэлектрический или магнитострикционный датчики колебаний. Его выходной сигнал поступает на вход усилителя. Усиленный сигнал частоты переменного тока подается

в обмотки электромагнитов и на частотомер. При протекании жидкости труба колеблется с резонансной частотой, зависящей от плотности жидкости.

Усовершенствование схем вибрационных плотномеров позволило улучшить технологические и метрологические характеристики приборов. Следует указать на производимые изыскания новых видов чувствительных элементов вибрационных плотномеров.

Вибратором может быть тонкий диск из магнитного материала, закрепленный в трех точках, лежащих на узловой окружности диска [11]. Колебания возбуждаются сердечником соленоида, установленного под центром диска. Резонансная частота определяется при плавном изменении частоты генератора, питающего соленоид, по максимуму сигнала индуктивного датчика, расположенного у края диска. Конструкция плотномера обеспечивает работу его при высоких температурах, в частности в ядерных реакторах.

Возможно выполнение чувствительного элемента в виде лопатки, зафиксированной на конце упругого стержня, перпендикулярно которому крест-накрест прикреплены четыре стержня, используемые для возбуждения и приема колебаний в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи индуктивных катушек. Колебания могут возбуждаться на резонансных частотах посредством генераторов с обратной связью или на постоянной частоте с изменением амплитуды колебаний [11].

Датчик во взрывобезопасном исполнении представляет собой две вертикальные трубы, верхние концы которых включают в разрыв трубопровода, а нижние соединены друг с другом горизонтальным участком, в который вводится термодатчик схемы температурной компенсации [12]. Верхние и нижние концы труб закреплены, а в средней части они охвачены полем постоянного магнита. Одна из труб помещена в сердечник трансформатора и является как бы его вторичной обмоткой. Когда на первичную обмотку подан ток с выхода усилителя, через трубы тоже протекает переменный ток и они отклоняются в магнитном поле, начиная вибрировать. Частотный сигнал с выхода усилителя смешивается с частотным сигналом стандартного генератора, и частота биений преобразуется в напряжение постоянного тока $0\text{--}10 \text{ мВ}$. Пределы измерения $0,5\text{--}1,5 \text{ г/см}^3$, чувствительность $0,05\text{--}0,20 \text{ г/см}^3$, воспроизводимость $\pm 1\%$ по всей шкале, нелинейность $\pm 0,5\%$, влияние температуры жидкости $\pm 0,5\%$ на 10°C .

Весовые плотномеры

Весовой плотномер для жидкостей состоит из подвижного патрубка, жестко связанного с уравнивающим рычагом элементами, соединенными с входным и выходным неподвижными патрубками дифференциально-трансформаторного датчика перемещения усилителя счетчика импульсов, дешифратора, цепи электромагнитов, показывающего и регистрирующего приборов [13]. Выходной конец входного неподвижного и выходной конец подвижного патрубков снабжены соплами, а уравнивающий рычаг – калиброванными грузами, замыкающими цепь электромагнитов. Выход генератора импульсов соединен со входом счетчика ключом, управляемая цепь которого через пороговый элемент связана с выходом фазочувствительного усилителя.

Плотномер для пульп выполнен в виде уравнивающего механизма, пневмоусилителя, входного и выходного участков трубопровода [13]. В разрыв последнего вставлены две прямые трубы, расположенные на одной линии и гибко соединенные между собой и с выходными участками трубопровода. Уравнивающий механизм содержит коромысло с грузом, цилиндр с поршнем, сопло с заслонкой и демпфер. Коромысло шарнирно связано с заслонкой и тягой, прикрепленной к трубам. Пневмоусилитель соединен с соплом, цилиндром и типовым пневморегистратором. Часть массы прямых труб и поршень измерительного цилиндра действует на одно плечо коромысла, на противоположное плечо которого оказывает действие груз. Выходное давление пневмоусилителя пропорционально плотности жидкости.

Аналогичный плотномер в другой модификации имеет шарнирно подведенную трубу, закрытую с одного конца; другой ее конец шарнирной опоры соединен с патрубком для подвода жидкости. Входной и выходной потоки образуются посредством разделительной лопасти, расположенной внутри трубы в осевой плоскости. Закрытый конец трубы подвешен при помощи упругих металлических пластин к короткому плечу рычага весов. Перемещая по рычагу противовес, производят грубое взвешивание. Точное взвешивание выполняется пневматическим датчиком с клапаном, шток которого связан с закрытым концом трубы, и устройством для уравнивания трубы в месте, близком к шарнирной подвеске. Мерой плотности служит давление в датчике.

Поплавковые плотномеры

Поплавковый плотномер состоит из проточной части с кюветой, наполненной

эталонной жидкостью, и чувствительной системы. Последняя представляет собой два утопленных поплавка одинаковой массы и объема, которые соединены с рычагом измерительной пневматической схемы, основанной на принципе силовой компенсации [14]. Погрешность не превышает $\pm 2\%$.

В двухпоплавковом плотномере жидкостей, содержащем поплавки в виде цилиндрических секторов (укрепленных с помощью подшипников на оси вращения) и компенсационные грузы (установленные в торцевой части поплавков и смещенные относительно точек приложения выталкивающей силы), узел регистрации перемещения поплавков собран из двух постоянных магнитов (укрепленных на поплавках) и двух индукционных катушек с якорями из магнитного материала, расположенными на оси вращения [14].

В ряде конструкций поплавковых плотномеров используются магнитные поплавки. Фиксацию положения поплавка можно осуществить посредством ферритового стержня, закрепленного на поплавке и расположенного в поле катушки высокочастотного генератора. Подъемная сила поплавка уравнивается воздействием магнитного поля соленоида. При определенном положении поплавка сила тока в соленоиде служит мерой плотности жидкости.

Плотномер для жидкостей под давлением представляет собой вертикально расположенный герметичный корпус, состоящий из двух соосных цилиндров: более широкого верхнего и суженного нижнего [15]. В верхнем цилиндре размещен цилиндрический поплавок из немагнитной нержавеющей стали, в нижней – прикрепленный к нему стержень с сердечником дифференциального индуктивного датчика, сердечника соленоида и сменными грузами, определяющими диапазон измерения. Внутри верхней части имеются кольцеобразные выступы, поддерживающие вертикальное положение поплавка и горизонтальное направление вектора скорости потока благодаря чему на поплавков практически не действуют вертикальные силы. Вокруг нижней части корпуса расположены катушки индуктивного датчика соленоида. Сила тока в соленоиде является мерой плотности. Плотномер жидкостей, обеспечивающий повышенную точность (погрешность $\pm 0,1\%$ в пределах $0,65\text{--}1\text{ г/см}^3$), характеризуется тем, что жидкость проходит через камеру, гарантирующую постоянное полное погружение поплавка и минимальное возмущающее действие движения жидкости на поплавок.

В настоящее время применяются поплавковые плотномеры с плавающим по-

плавком, представляющим собой ареометр постоянной массы, и с полностью погруженным поплавком, который является ареометром постоянного объема. Поплавковые плотномеры применяются для контроля плотности однородных довольно чистых капельных жидкостей.

Следует отметить группу приборов для измерения плотности жидкости, использующих принцип плавающего поплавка – денсиметры или ареометры постоянной массы. Денсиметры подразделяются на денсиметры общего назначения (для измерения плотности различных жидкостей, водных растворов кислот, щелочей, солей и т.д.), нефтденсиметры для измерения плотности нефтепродуктов, лактоденсиметры, денсиметры морской воды и аккумуляторные денсиметры для измерения плотности раствора электролита.

Ареометры постоянной массы по их метрологическому назначению делятся на рабочие, образцовые и эталонные [16]. В настоящее время имеется много разновидностей конструкций автоматических плотномеров с плавающим поплавком, отличающихся типом (механические, электрические, пневматические) и устройством (индуктивные, потенциометрические) преобразователей для дистанционной передачи показаний. Такие плотномеры можно применять при работе с агрессивными жидкостями при изготовлении его из стойких к коррозии материалов.

Гидростатические плотномеры

Гидростатический плотномер включает в себя датчик, выполненный в виде цилиндра с мембранами, расположенными в его верхней и нижней частях [17, 18]. Внутри датчика находятся дифференциальный трансформатор и два соленоида. Сердечники последних кинематически связаны с нижней мембраной. Изменение плотности жидкости обуславливает изменение перепада давления между мембранами и соответствующее перемещение нижней мембраны. Дифференциальный трансформатор преобразует перемещение в электрический сигнал, поступающий на усилитель и преобразуемый затем в соответствующее изменение тока компенсационного соленоида. Изменение усилия, создаваемое соленоидом, компенсирует возникшее изменение давления на нижнюю мембрану. Измеряемая плотность оценивается по току в компенсационном соленоиде.

Ультразвуковые плотномеры

Ультразвуковые плотномеры относятся к приборам, обеспечивающим бесконтакт-

ное измерение плотности любых жидкостей. Показания прибора не зависят ни от свойств, ни от состава жидкости. Приборы характеризуются высокой чувствительностью и безынерционностью.

Ультразвуковой плотномер для жидкостей основан на измерении кинетического импеданса преобразователя, помещенного в жидкость [19, 20]. Изменения импеданса при небольших изменениях плотности носят линейный характер. Для измерения импеданса служит дифференциальный измерительный мост, одно плечо которого образовано магнитострикционным преобразователем, являющимся измерительным элементом, скомпенсированным емкостью. В другое плечо моста включен переменный резистор. Сигнал с выходного трансформатора моста через полосовой фильтр поступает на вход транзисторного милливольметра. Излучающая поверхность преобразователя погружена в измеряемую жидкость.

Постоянство заданной частоты и уровня сигнала, питающего мост, обеспечивается акустической обратной связью. С этой целью на тыльной стороне преобразователя прикреплен датчик из титаната бария, сигнал с которого поступает на резонансный усилитель – ограничитель напряжения, питающий мост. С помощью переменного резистора устанавливается начало шкалы, а коэффициент усиления милливольметра определяет пределы измерения. Диапазон измерения $1,3\text{--}1,7\text{ г/см}^3$, погрешность не более $\pm 0,005\text{ г/см}^3$. Путем отказа от измерения скорости звука в среде достигнуто значительное упрощение электронной и акустической схем прибора [21].

Фирма Ronald Trist Controls (Великобритания) выпускает ультразвуковой плотномер для измерения плотности шлама при осаждении сточных вод. Пьезоэлектрический преобразователь, акустически контактирующий с измеряемой средой, возбуждают на резонансной частоте и получают выходной сигнал, являющийся функцией акустического сопротивления, а следовательно, и мерой плотности [22].

Силовые плотномеры

Силовой датчик плотности жидкости представляет собой тонкий диск, установленный в трубопроводе с контролируемым потоком. Плоскость диска параллельна направлению потока. Диск в центре привинчен к торцу тонкого стержня, расположенного перпендикулярно потоку и через боковой патрубок выходящего наружу, на преобразователь, присоединяемый к патрубку на фланце. Преобразователь отделен

мембраной, сквозь которую проходит стержень. Полость преобразователя вплоть до мембраны заполнена рабочей жидкостью, компенсирующей влияние статического давления.

Датчик воспринимает статическое усилие, зависящее от давления и плотности, и динамическое усилие, определяемое скоростью потока и твердыми включениями. Для повышения точности измерений доля второго усилия сведена к минимуму, благодаря малой площади лобового сечения датчика, поэтому изменения скорости потока почти не влияют на результат измерения. В то же время гидростатическое давление, пропорциональное плотности, воспринимается всей поверхностью датчика, т.е. зависит в основном от площади диска, но так как последняя достаточно велика, то даже для малых плотностей выходной сигнал тоже достаточно велик. Путем насаживания на тот же стержень с некоторым интервалом двух и более параллельных потоку дисков можно во много раз увеличить чувствительность датчика. Дисковая форма датчика обеспечивает простоту и точность его крепления центральным винтом, а также удобство замены.

Вихревые плотномеры

Датчик вихревого плотномера жидкостей имеет форму вертикально установленного прямоугольного параллелепипеда. Внутри датчик разделен вертикальными герметичными стенками и симметрично расположенными полуцилиндрами с горизонтальной продольной осью на три камеры: две внешние и внутреннюю. Стенки полуцилиндров пористые. Две жидкости различной плотности поступают во внешние камеры через штуцеры, перпендикулярные оси, проходят через стенки полуцилиндров во внутреннюю камеру, смешиваются в ней и выходят через осевой штуцер. Ввиду различия плотностей под действием силы тяжести образуется вихрь; угол наклона вихря, зависящий от геометрических размеров датчика, расхода и плотностей жидкостей, измеряется чувствительным элементом обтекаемой формы в виде крыла. При известной плотности жидкости выходной сигнал является мерой плотности другой жидкости. Чувствительность прибора ограничена шумами электронной измерительной схемы и составляет (по плотности) несколько миллионных долей грамма на кубический сантиметр.

Радиоактивные плотномеры

Радиоактивный метод измерения относится к бесконтактным методам измерения,

так как чувствительный элемент прибора не вводится внутрь измеряемой среды. В связи с этим радиоактивные плотномеры целесообразно применять в тех случаях, когда измеряется плотность агрессивных или весьма вязких жидкостей, пульп и жидкостей, находящихся под высоким давлением или имеющих высокую температуру, и когда другие приборы практически неприменимы [23].

Существенным недостатком таких приборов является зависимость показаний от природы жидкости, что требует индивидуальной градуировки прибора для определенной жидкости.

В радиоактивных плотномерах, использующих источник с гамма-излучением, измерение плотности измеряемой среды возможно по поглощению излучения измеряемой средой. Определяется изменение интенсивности прямого пучка гамма-лучей после прохождения через исследуемую жидкость [24]. Радиоактивный источник и приемник излучения располагаются так, что прямой пучок гамма-лучей, пройдя через стенки трубопровода и исследуемую среду, попадает в приемник излучения или по рассеянию излучения исследуемой средой. Источник и приемник излучения размещают по одну сторону трубопровода и экранируют так, что в приемник поступают лишь те гамма-лучи, которые претерпели рассеяние в жидкости; прямой пучок гамма-лучей улавливается свинцовым экраном [25].

В настоящее время в промышленных приборах используется первый способ, т.е. измерение падения интенсивности прямого пучка гамма-излучения. В качестве источника последнего применяют радиокобальт (кобальт-60) и радиоцезий (цезий-137).

Гамма-лучи от радиоактивного источника проходят через контролируемую среду и воспринимаются приемником – сцинтилляционным счетчиком. Одновременно с этим от второго источника (контролируемого) гамма-лучи попадают на счетчик, минуя контролируемую среду. Усиленные сигналы счетчиков сравниваются между собой, и по их разности определяется степень поглощения гамма-лучей и, соответственно, плотность контролируемой среды [26, 27].

Величина измерительного диапазона может быть выбрана в пределах 0,3–2,5 г/см³; точность $\pm 2\%$ от диапазона измерения; быстродействие не превышает 1,5 мин.

Выводы

В распоряжении разработчиков имеется широкая номенклатура промышленных плотномеров, позволяющих успешно решать, пусть и не всегда на желаемом или требуемом уровне, значительное число воз-

никающих задач. Тем не менее массовому промышленному применению плотномеров препятствуют их недостатки, которые заключаются в особенностях метрологических характеристик, сложности монтажа и обслуживания, больших габаритах, недостаточной надежности и высокой стоимости. Сложно выделить хотя бы один серийно выпускаемый плотномер, способный обеспечить высокую точность измерений при успешной эксплуатации в промышленных условиях.

Достаточно высокие требования, предъявляемые к плотномерам, ставят перед исследователями задачи по разработке новых и совершенствованию существующих методов и средств измерения плотности. Однако существующие образцы плотномеров или сложны в обслуживании и эксплуатации, или имеют высокую стоимость, в особенности образцы зарубежного производства. Поэтому задача разработки новых методов и средств измерения плотности остается достаточно актуальной.

Список литературы

1. Авдеева Л.Г., Хиляев Р.Г., Шадрин А.В. Применение инновационных технологий в промышленной безопасности // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2015. № 4. С. 10–13.
2. Мубаракшин М.Р., Сладовский А.Г., Фишман И.И. Новые нормативные документы по приведению плотности нефти и нефтепродуктов по температуре и давлению // Мир измерений. 2015. № 2. С. 18–19.
3. Ю. П. Жуков. Вибрационные плотномеры. М.: Энергоатомиздат, 1991. 141 с.
4. Костин В.И. Сравнительная оценка интенсивности вибрации с переменной во времени амплитудой эквивалентным значениям виброскорости гармонических колебаний // Проблемы прочности. 1974. № 9. С. 103–109.
5. А.с. 360591 СССР, МКИ G 01 N 9/32. Проточный вибрационный плотномер / В.И. Рукавишников, В.И. Младенцев, А.Г. Вуколов, Н.Н. Федосеев. Открытия. Изобретения. 1972. № 36.
6. Catherall R. Improvements in apparatus for determining the density of fluid // Патент Англии № 143216. 1976.
7. Miller C.E. Densitometer // Патент США № 3878710. 1973.
8. Богуш М.В., Зацеркляный О.В. Вибрационные плотномеры для вязких жидкостей // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2013. № 3. С. 36–39.
9. Васильев С.И., Лапушова Л.А. Датчики систем автоматизации технологических процессов бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 138 с.
10. Калинин А.В., Уваров Н.В., Дойников В.В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 564 с.
11. Иориш Ю.И. Виброметрия. Измерение вибрации и ударов. Общая теория. Методы и приборы. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. 773 с.
12. Старикова Г.В., Хайруллина Л.Б. Пожаровзрывозащита. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. 130 с.
13. Федюкин В.К. Квалитетрия. Измерение качества промышленной продукции. М.: Кнорус, 2017. 316 с.
14. Латышенко К.П. Технические измерения и приборы. М.: Юрайт, 2017. 259 с.
15. Еромолаев А.Н., Мельничук О.В. Современные средства измерения плотности жидких дисперсных сред // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. № 4. С. 92–97.
16. ГОСТ ISO 3675–2014 Нефть сырая и нефтепродукты жидкие. Лабораторный метод определения плотности с использованием ареометра. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
17. Билинский И.И., Огородник К.В., Яремисна Н.А. Анализ методов и средств измерения плотности нефтепродуктов // Научные труды Винницкого национального технического университета. 2016. № 2. С. 10–23.
18. Немченко В.И., Епифанова Г.Н., Панкратова А.Г. Проектирование установки датчиков и средств автоматизации на технологическом оборудовании. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. 58 с.
19. Крылов А.О. Коррекции по плотности ультразвуковых измерителях расхода. Самара: Самарский государственный технический университет, 2012. 156 с.
20. Chen Y., Huang Y., Chen X. Acoustic propagation in viscous fluid with uniform flow and a novel design methodology for ultrasonic flow meter. Ultrasonics. 2013. No. 53 (2). P. 595–606.
21. Han J., Liu H., Zhou Y., Zhang R., Li C. Studies on the transducers of clamp-on transit-time ultrasonic flow meter. Information Science and Technology (ICIST) 4th IEEE. 2014. P. 180–183.
22. Mahadeva D.V., Baker R.C., Woodhouse J. Further studies of the accuracy of clamp-on transit-time ultrasonic flowmeters for liquids. Instrum. Meas. IEEE Trans. 2009. No. 58 (5). P. 1602–1609.
23. Чудаков В.А., Аншаков О.М. Радиоизотопное измерение плотности легких сред. Минск: БГУ, 2011. 141 с.
24. Khabaz R., Yaghobi F. Design and employment of a non-intrusive γ -ray densitometer for salt solutions. Radiat. Phys. Chem. 2015. No. 108. P. 18–23.
25. Khorsandi M., Feghi S.A.H. Design and construction of a prototype gamma-ray densitometer for petroleum products monitoring applications. Measurement. 2011. No. 44 (9). P. 1512–1515.
26. Haugh M.J., Charest M.R., Ross P.W. Calibration of X-ray imaging devices for accurate intensity measurement. Powder Diffr. 2012. No. 27 (2). P. 79–86.
27. Гашенко Ю.В., Сорокина Л.В., Яговкин Г.Н. Методологические основы обеспечения безопасности производства // Академический вестник ELPIT. 2018. № 2. С. 23–28.

СТАТЬЯ

УДК 004.4:621.165

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ASPEN PLUS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПАРА В ТУРБИНЕ**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*

Паровые турбины в настоящее время получили чрезвычайно широкое применение в различных технологических процессах, особенно в энергетике. При этом до сих пор актуальной задачей является разработка средств их оптимального проектирования, что на современном этапе развития технологий невозможно осуществить без привлечения численных методов и систем автоматизированного проектирования. Одним из наиболее совершенных программных продуктов, позволяющих исследовать технологические схемы производства энергии, химического производства и многих других, является пакет AspenONE, составной частью которого является программа Aspen Plus. С её помощью можно исследовать в том числе и характеристики паровых турбин. В данной работе рассматривается разработанная авторами методика моделирования в программе Aspen Plus схемы включения паровой турбины, выбора и задания параметров рабочего тела и расчёта характеристик, происходящих в турбине процессов при различных способах организации регулирования – количественного и качественного. На примере конкретной модели конденсационной турбины, К-100-900, производства Ленинградского металлического завода, исследовался изотропный процесс расширения пара, для которого получены зависимости вырабатываемой мощности от расхода пара и его начального давления. Построенные графики позволили сделать выводы о взаимной зависимости параметров исследуемой турбины и выработать рекомендации по дальнейшему развитию разработанного метода. Описанный метод позволит разработчикам значительно усовершенствовать и ускорить процесс проектирования технологических схем, содержащих паровые турбины.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, паровая турбина, изотропный процесс, регулирование турбин, Aspen Plus

USING ASPEN PLUS TO INVESTIGATE TURBINE STEAM EXPANSION**Ilichev V.Yu., Yurik E.A.**

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

Steam turbines have now become extremely widely used in various processes, especially in power engineering. At the same time, it is still a pressing task to develop tools for their optimal design, which at the current stage of technology development is impossible to implement without the involvement of numerical methods and systems of automated design. One of the most advanced software products that allow to explore technological schemes of energy production, chemical manufacturing and many others, is a AspenONE package, of which the Aspen Plus program is an integral part. With its help it is possible to investigate, among other things, the characteristics of steam turbines. This paper considers the method developed by the authors to simulate in the Aspen Plus program the scheme of steam turbine activation, selection and setting of working medium parameters and calculation of characteristics of processes taking place in the turbine under various methods of regulation organization – quantitative and qualitative. On the example of a specific model of a condensation turbine, K-100-900, manufactured by the Leningrad Metal Plant, the isentropic process of steam expansion was studied, for which the dependence of the generated power on the steam flow rate and its initial pressure was obtained. The graphs made it possible to draw conclusions about mutual dependence of parameters of the turbine under study and to develop recommendations for further development of the developed method. The described method will allow developers to significantly improve and speed up the process of designing technological schemes containing steam turbines.

Keywords: automated design, steam turbine, isentropic process, turbine regulation, Aspen Plus

Паровые турбины используются не только в качестве двигателя для преобразования тепловой энергии пара, полученного в котле, в кинетическую энергию для вращения ротора электрогенератора [1], но также входят в состав многих производственных процессов в качестве привода других установок – компрессоров, нагнетателей, насосов и др. [2, 3].

В связи с широким распространением паровых турбин в различных технологических схемах является актуальным модели-

рование процессов, происходящих в них. На основе такого моделирования можно проследить влияние турбины на характеристики исследуемых схем, определить взаимосвязь различных теплофизических параметров на входе и на выходе турбины, найти вырабатываемую мощность.

Одной из современных программ, позволяющих моделировать различные промышленные установки, входящие в технологические процессы производства, переработки химических продуктов, полу-

чения энергии, а также создавать связи между ними, является система Aspen Plus, входящая в программный комплекс AspenONE. Эта программа отличается тем, что имеет огромную базу по свойствам веществ, используемых в производстве, и имеет совершенные и наглядные средства разработки моделей, состоящих из множества отдельных блоков.

Известны три способа регулирования мощности паровых турбин [4]:

1. Количественное (изменением расхода пара при постоянных теплофизических параметрах – температуре, давлении и др.).
2. Качественное (изменением параметров пара на входе в турбину, при неизменном расходе). Чаще всего это регулирование осуществляется изменением давления (регулирование скользящим давлением).
3. Смешанное – комбинация количественного и качественного регулирования.

Целью данной работы является разработка модели функционирования турбины, работающей на водяном паре, в программе Aspen Plus, а также исследование характеристик двух типов регулирования мощности – методами количественного и качественного регулирования, на примере конкретной модели турбины.

Разрабатываемая методика может помочь в дальнейших исследованиях при создании различных технологических схем, имеющих в своём составе паровые турби-

ны, например [5]. При этом у разработчиков появляется возможность выбирать параметры турбины, позволяющие добиться её наилучших эксплуатационных и экономических характеристик.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта моделирования выбрана турбина К-100-90 производства Ленинградского металлического завода [6]. Для получения требуемых характеристик регулирования рассмотрен изоэнтропный процесс расширения пара в данной турбине (идеальный процесс расширения без изменения энтропии) [7].

Вначале в программе Aspen Plus была создана схема, содержащая исследуемую турбину TURBINE, входной материальный поток рабочего тела INLET и выходной материальный поток OUTLET (рис. 1). Вырабатываемая турбиной мощность моделируется с помощью энергетического потока POWER.

Следует отметить, что одной из особенностей программы Aspen Plus является одинаковое визуальное изображение турбины и компрессора в составе схемы, при этом для компрессора значение энергетического потока POWER получается со знаком плюс (моделируется потребляемая мощность), а для турбины – со знаком минус (так как мощность не потребляется, а вырабатывается).

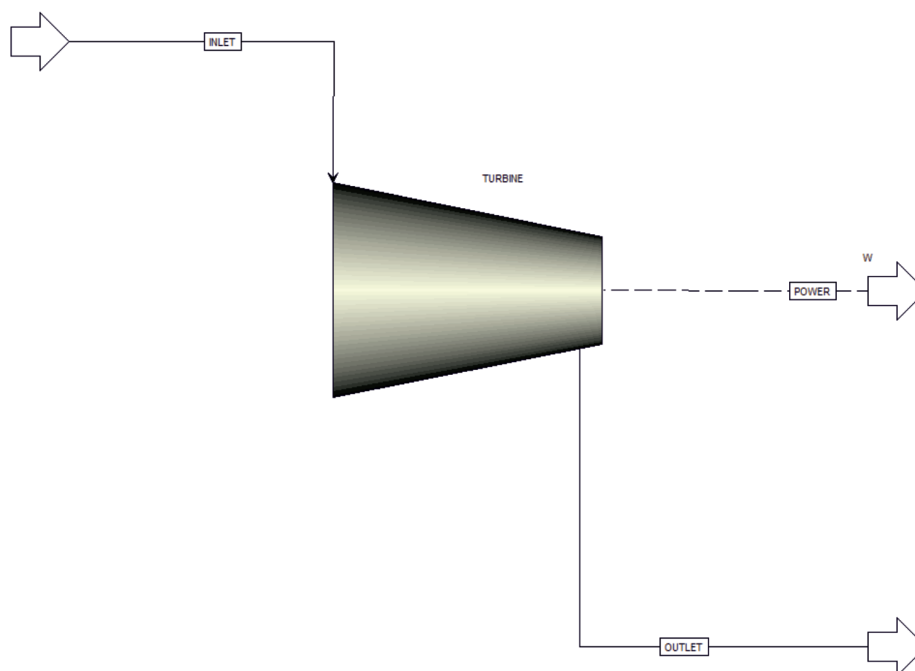


Рис. 1. Модель технологической схемы подключения паровой турбины

Далее, из базы веществ программы было выбрано рабочее тело материальных потоков – вода H_2O (в рассматриваемом процессе имеет парообразное агрегатное состояние; в конце процесса с некоторой примесью влаги), для которого в той же базе заложены все необходимые для расчёта свойства – энтальпии, энтропии, удельные объёмы при разных давлениях и температурах и прочие.

Затем были заданы номинальные параметры рабочего тела, пара, на входе в турбину K-100-90 (поток INLET) согласно данным [6] (рис. 2).

При вводе характеристик турбины (блок TURBINE) необходимо выбрать только тип модели (компрессор или турбина), выбрать тип процесса (изоэнтروпный) и задать конечное давление процесса 5 кПа. Остальные параметры определяются программой автоматически в процессе выполнения вычислений.

Для построения зависимости мощности турбины от давления на входе и от расхода пара необходимо также правильно заполнить пункт Model Analysis Tools → Sensitivity.

В данном случае необходимо получить значения мощности, развиваемой турбиной, при следующем изменении параметров потока на входе INLET:

1) расхода рабочего тела от 1 до 420 т/ч при сохранении номинальных давления 90 бар и температуры 535°C (регулирование мощности изменением расхода – качественное регулирование);

2) давления потока от 1 до 90 бар при сохранении номинальных температуры 535°C и расхода 420 т/час (регулирование мощности скользящим давлением – качественное регулирование).

Результаты исследования и их обсуждение

После запуска расчёта программа определяет параметры выходных потоков: материального потока рабочего тела OUTLET и энергетического потока POWER при номинальных параметрах входного потока INLET турбины K-100-90 (рис. 3).

Из результатов видно, например, что количество жидкой фазы (влаги) на выходе составляет 4,75%, температура 36°C , вырабатываемая турбиной мощность 118 МВт (что соответствует реальной внутренней мощности турбины около 100 МВт с учётом её относительного внутреннего КПД 80–85%).

Далее была построена зависимость для мощности, вырабатываемой турбиной, при изменении расхода пара (рис. 4). Эта зависимость при изоэнтропном процессе является линейной [8].

Также построена зависимость мощности турбины, при варьировании давления пара на входе (рис. 5) – так называемая характеристика при регулировании мощности методом скользящего давления.

Из данного графика можно сделать важный вывод, что наибольший прирост мощности при увеличении давления на 1 бар наблюдается при относительно низких давлениях пара.

The screenshot shows a software window with several tabs: Mixed, CI Solid, NC Solid, Flash Options, EO Options, Costing, and Information. The 'Flash Options' tab is selected. Under 'Specifications', 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. The 'State variables' section includes Temperature (535 C) and Pressure (90 bar). 'Total flow basis' is set to 'Mass' and 'Total flow rate' is 420 tonne/hr. The 'Composition' section shows a table with 'WATER' and a value of 420. There are also fields for 'Reference Temperature' and 'Volume flow reference temperature'.

Component	Value
WATER	420

Total 420

Рис. 2. Задание начальных параметров пара

OUTLET		POWER	Flowsheeting Options	
Default	POWER kW	-118017,132		
	SPEED rpm			
From			OUTLET	
To			TURBINE	
Substream: MIXED				
Phase:			Mixed	
Component Mole Flow				
WATER	KMOL/HR	23313,5		
Mole Flow	KMOL/HR	23313,5		
Mass Flow	KG/HR	420000		
Volume Flow	L/MIN	1,90143e+08		
Temperature	C	36,0331		
Pressure	BAR	0,05		
Vapor Fraction		0,952473		
Liquid Fraction		0,0475271		
Solid Fraction		0		
Molar Enthalpy	CAL/MOL	-58185,1		
Mass Enthalpy	CAL/GM	-3229,76		
Enthalpy Flow	CAL/SEC	-3,7681e+08		
Molar Entropy	CAL/MOL-K	-6,01318		
Mass Entropy	CAL/GM-K	-0,333782		
Molar Density	MOL/CC	2,04351e-06		

Рис. 3. Результаты расчёта параметров выходных потоков

Мощность турбины, кВт

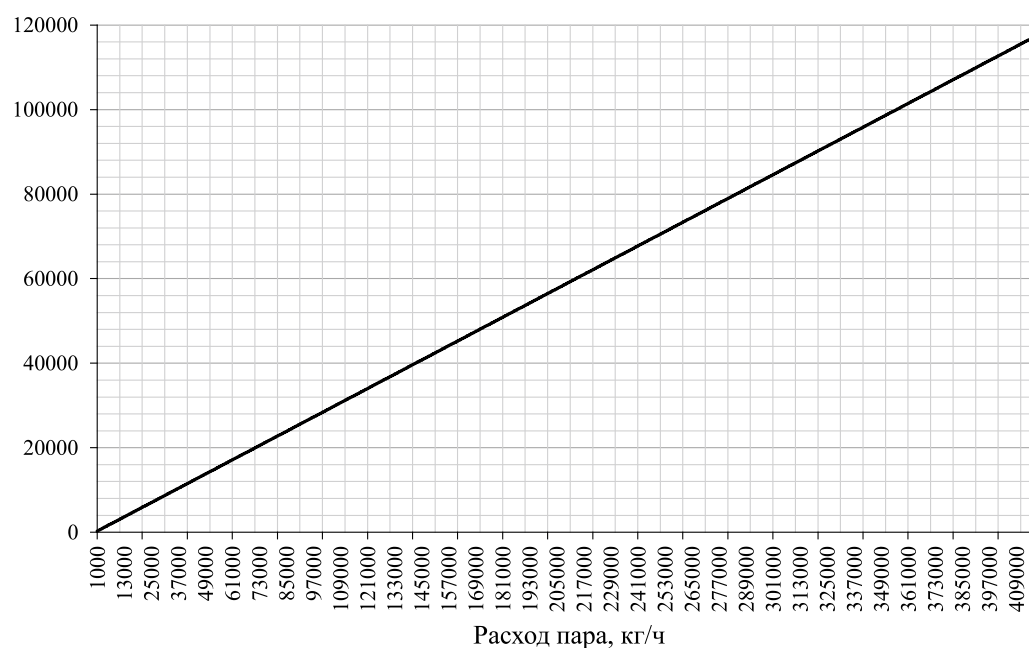


Рис. 4. Зависимость мощности турбины от расхода пара

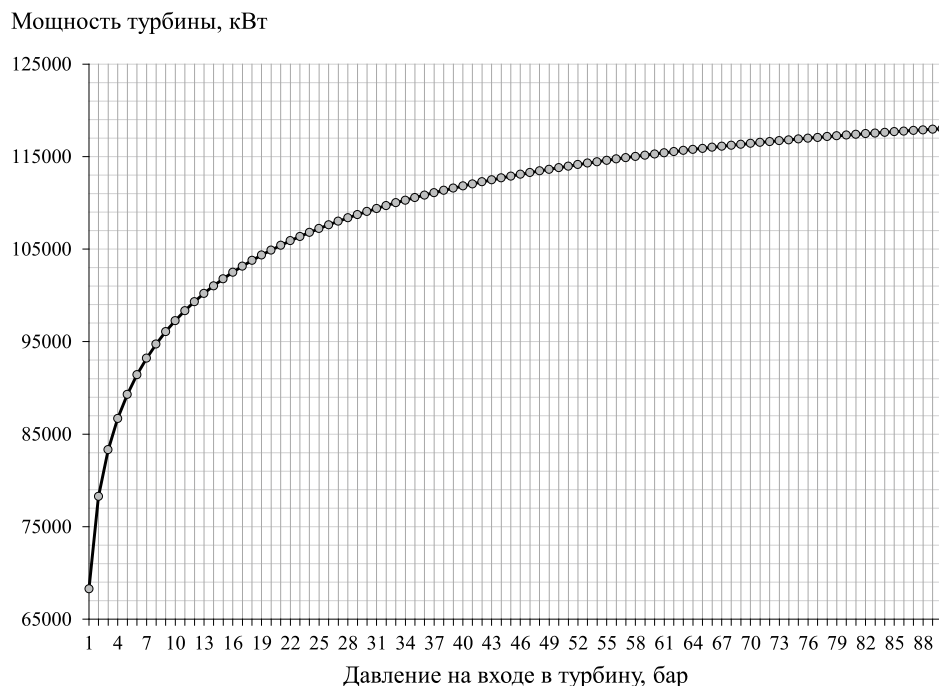


Рис. 5. Зависимость мощности турбины от давления пара на входе

Подобным же образом можно построить любые зависимости параметров материальных и энергетических потоков. При этом можно рассматривать не только изотропный процесс расширения пара, но и реальный, однако в описание модели турбины в этом случае необходимо добавить данные, полученные по результатам её детального теплового расчёта (например, по методике [9]) либо испытаний аналогичных турбин. Например, необходимо задаваться зависимостью относительного внутреннего КПД проточной части турбины от расхода пара и от его параметров на входе и выходе турбины. Также разработанную методику описания турбины можно использовать при моделировании тепловых схем турбоустановок [10] в программе Aspen Plus.

Заключение

Цель данной работы выполнена – разработана методика создания модели паровой турбины и исследования взаимозависимости различных её параметров с использованием системы численного моделирования Aspen Plus. Получены и проанализированы характеристики двух способов регулирования мощности турбины – количественного и качественного. Предложены пути дальнейшего совершенствования данной методики.

Список литературы

1. Мажаев В.С. Паротурбины в распределенных энергетических системах // Актуальные вопросы современной

науки: сборник статей по материалам XI международной научно-практической конференции. В 2 ч. 2018. С. 117–120.

2. Кирпичникова И.М., Рахматулин И.Р. Использование паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2016. Т. 16. № 3. С. 57–61.

3. Zabelin N.A., Saychenko A.S. Development of an environmentally friendly steam turbine working on organic fluid for waste heat utilization // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 3 (249). С. 5–14.

4. Болдырев О.Н. Судовые энергетические установки. Часть II. Котлотурбинные энергетические установки: учеб. пособие. Северодвинск: Севмашвуз, 2004. 187 с.

5. Щинников П.А., Ловцов А.А., Марасанов Н.В. Новая технология на основе двигателя внутреннего сгорания и паровой турбины. Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2016. Т. 4. № 1. С. 304–307.

6. Каталог продукции группы компаний «Силовые машины» 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.power-m.ru/upload/iblock/d99/SM_all_2018.pdf (дата обращения: 10.12.2019).

7. Гнеушев А.С. Расчет принципиальной тепловой схемы энергоблока ТЭС: Метод. указания. Самара: Самарский государственный технический университет, 2013. 37 с.

8. Балашов А.А. Техническая термодинамика. Барнаул: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2014. 101 с.

9. Кудряшов А.Н., Фролов А.Г., Сушко С.Н., Стенников В.А. Тепловой расчет паровой турбины: учебное пособие для студентов теплоэнергетических специальностей. Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2004. 87 с.

10. Мирошников В.В., Иваницкий М.С. Сравнительные расчеты тепловых схем с сепарацией для турбоустановки с влажно-паровой турбиной // Научно-практическая конференция, посвященная 60-летию пуска первого гидроагрегата Волжской ГЭС: сборник докладов. 2019. С. 69–73.

СТАТЬЯ

УДК 004.021:616

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ МНОГОРАКУРСНОЙ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Алексанян Г.К., Щербakov И.Д., Кучер А.И.

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: graer@yandex.ru

В статье рассмотрены некоторые ограничения метода многокурсовой электроимпедансной томографии. Описаны проблемы, возникновение которых связано с данными ограничениями. С учетом безальтернативности реализации метода в виде аппаратно-программного комплекса, совокупность рассматриваемых в работе ограничений разделена на аппаратную и программную части. Показано, как переход к многополюсной схеме наложения электродов и съема измерительной информации влияет на увеличение сложности схемотехнических решений, реализующих метод устройств и сопутствующее данному процессу увеличение нагрузки на устройства обработки и хранения измерительной информации. Описаны проблемы электробезопасности обслуживающего персонала и исследуемых объектов, требующие более детального изучения. Показана необходимость исследования совместимости устройств многокурсовой электроимпедансной томографии с другими медицинскими приборами во время проведения измерений, в том числе с дефибрилляторами и аппаратами высокочастотной электрохирургии. В работе описана важность учета психофизического состояния пациента при проведении исследований. Показано, как реализация метода влияет на сложность алгоритмов управления аппаратной частью устройства и особенно реконструкции поля проводимости внутренних структур исследуемого объекта. Кроме того, описаны общие ограничения, связанные с недостатком методических материалов, статистической информации, которые пригодны для разработки стандартов проведения исследований, интерпретации измерительных данных, безопасности. Указано, что ряд рассматриваемых ограничений носит временный характер, в то время как некоторые являются критическими и их устранение невозможно ввиду физических процессов, лежащих в основе метода.

Ключевые слова: электроимпедансная томография, аппаратно-программный комплекс, ЭИТ, ограничения, методические рекомендации

HARDWARE-SOFTWARE LIMITATIONS OF MULTI-ANGLE ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D., Kucher A.I.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: graer@yandex.ru

The article discusses some of the limitations of the multi-angle electrical impedance tomography method. The problems that occur due to these restrictions are described. Given the non-alternative implementation of the method in the form of a hardware-software complex, the set of limitations considered in the work is divided into hardware and software. It is shown how the transition to a multi-belt measuring scheme affects the increase in the complexity of circuitry solutions implementing the method devices and concomitant increase in the load on the devices for processing and storage of measurement information. The problems of electrical safety of service personnel and objects under study are described, requiring a more detailed research. The necessity of studying the compatibility of multi-angle electrical impedance tomography devices with other medical devices during measurements, including with defibrillators and high-frequency electrosurgery devices, is shown. The paper describes the importance of taking into account the patient's psychophysical state during research. It is shown how the implementation of the method affects the complexity of control algorithms for the hardware of the device and, especially, reconstruction of the conduction field of the internal structures of the studied object. In addition, general limitations associated with the lack of teaching materials, statistical information that are suitable for developing standards for research, interpretation of measurement data, and safety are described. It is indicated that a number of the limitations considered are temporary in nature, while some are critical, and their elimination is impossible due to the physical processes underlying the method.

Keywords: multi-angle electrical impedance tomography, hardware-software complex, EIT, limitations, guidelines

Многокурсовая электроимпедансная томография (МРЭИТ) является перспективным методом получения и визуализации данных о распределении проводимости в объеме исследуемого объекта [1–2]. Помимо очевидных преимуществ этого перспективного метода медицинской визуализации, связанных с неинвазивностью, безвредностью, возможностью выбора отдельных томографических срезов, синтеза новых срезов в плоскостях, отличных от

плоскостей расположения электродных поясов, существуют и известные ограничения метода.

Многокурсовая электроимпедансная томография реализуется в виде аппаратно-программного комплекса (АПК) [3, 4]. Для получения результатов измерения проводятся на исследуемом объекте (ИО) с помощью устройства, реализующего метод МРЭИТ, и электродных поясов пациента. С учетом разделения системы на аппарат-

ную и программные части, целесообразно по данному принципу разделить и ограничения, связанные с реализацией данного метода. Кроме того, в работе будут рассмотрены общие ограничения, связанные с реализацией метода.

Материалы и методы исследования

1. Аппаратные ограничения метода.

1.1. Увеличение количества измерительных каналов.

Одним из главных ограничений при реализации метода МРЭИТ является вычислительная мощность устройства ЭВМ, подключенного к устройству для снятия информации с пациента. Рост объемов измерительной информации, полученной в ходе исследования, является следствием перехода от измерений с помощью одного пояса электродов пациента к нескольким: так, для устройства ЭИТ с одним поясом пациента, состоящим из количества электродов $n = 16$, количество измеренных потенциалов, необходимых для построения одного кадра, составляет 208 [4, 5]; при этом для устройства, в котором снятие информации проводится в двух поясах по схеме «Зигзаг», количество измерений достигает уже 928; для 10 подключённых поясов пациента количество измерений составит уже 25120 измерений [5]. Описанные варианты получения измерительной информации с различным количеством поясов представлены на рис. 1.

Таким образом, увеличение количества поясов пациента позволяет получить больше информации о внутренних структурах ИО, но это приводит к увеличению нагрузки на технические средства обработки и визуализации измерительных данных (ЭВМ) и, соответственно, увеличению времени ожидания между началом измерения и выводом реконструированных изображений [5]. Также, ввиду того, что измерение каждого потенциала с поверхности исследуемого объекта продолжается несколько периодов

инжектируемого сигнала [4, 5], необходимо рассмотреть переход к более высоким частотам инжектируемого тока. Это ведет к необходимости внесения изменений в аппаратную часть и требует дополнительных исследований в части воздействия инжектируемого тока более высокой частоты на организм пациента [5, 6].

Увеличение количества измерений ведет к неизбежному увеличению общей длительности времени переключения измерительных каналов. В связи с этим необходимо учитывать задержку переключения элементов цифровой логики, используемых в схеме проектируемого устройства. Уменьшение данной задержки возможно путем подбора более быстродействующих элементов. Стоит отметить, что применение более быстродействующих элементов может повлиять на конечную стоимость устройства.

1.2. Расположение электродов.

Согласно исследованиям, выполненным в [7], ширина зоны распространения инжектируемого тока при проведении ЭИТ составляет 6–8 см в каждую сторону от плоскости наложения электродов, полученные данные требуют верификации и должны быть приняты к сведению при проектировании конструкции электродного пояса для МРЭИТ. Также не изучено взаимное влияние большого количества электродных поясов пациента друг на друга во время проведения измерений.

1.3. Контактное сопротивление «кожа – электрод».

Следует отметить влияние на получение корректных результатов исследования степени соприкосновения электродов с поверхностью кожного покрова пациента. При нарушении контакта получаемые результаты могут быть недостоверными. Устройство должно обладать функциями мониторинга сопротивления контакта «кожа – электрод». Однако данная проверка при большом количестве электродов также может увеличивать время исследования.

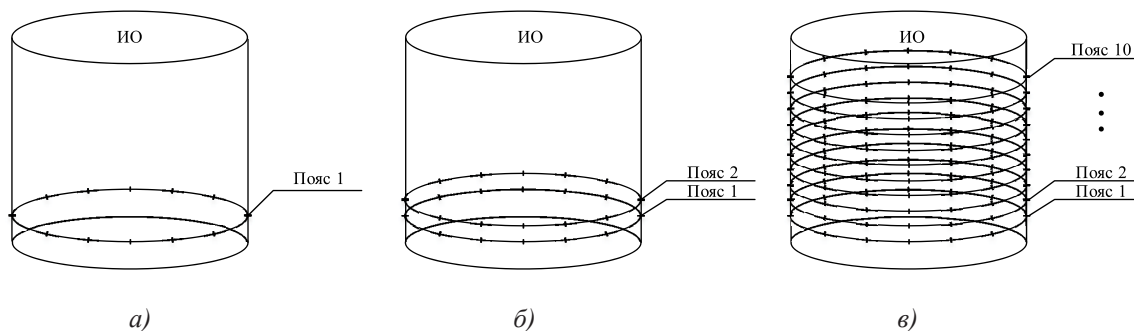


Рис. 1. Схемы измерения потенциалов: а) 1 пояс, б) 2 пояса, в) 10 поясов

1.4. Эргономика наложения электродов и возможность проведения манипуляций над объектом во время проведения исследования методом ЭИТ.

Отдельную сложность в реализации эргономичной и эффективной конструкции представляет большое количество кабелей пациента, соединяющих электроды на пояс и устройства с компьютером. Размещение такого электродного пояса на поверхности тела пациента может привести к возникновению дискомфортных ощущений, изменению психофизического состояния пациента.

Отдельного изучения требуют вопросы возможности проведения манипуляций над ИО во время проведения исследования методом МРЭИТ, таких как хирургические вмешательства, взятие различных проб, измерение физиологических показателей.

1.5. Электробезопасность.

Согласно требованиям международных стандартов [8], амплитуда инжектируемого тока не должна превышать допустимых значений для токов утечки на цепь пациента. Кроме того, в аппаратных средствах проведения МРЭИТ должна быть предусмотрена изоляция цепи пациента от напряжения питающей сети.

1.6. Влияние на приборы, измеряющие электрофизиологические параметры ИО.

Весьма важным является вопрос влияния устройств, реализующих метод МРЭИТ, на результаты измерений электрокардиографов (ЭКГ), реоэнцефалографов (РЕГ) и т.д. Совместное использование устройств МРЭИТ и медицинских приборов, регистрирующих электрические потенциалы с поверхности тела пациента [7]: ЭКГ, РЕГ и др. – требует дополнительных исследований.

1.7. Проведение исследований во время использования аппаратов высокочастотной электрохирургии. Совместное применение МРЭИТ и устройств для дефибриляции, кардиостимуляторов.

Отдельное внимание следует уделить изучению взаимного влияния устройства МРЭИТ и имплантированных электрических устройств (например, кардиостимуляторов) и металлических предметов в организме пациента и на внесимую ими погрешность.

Кроме того, невозможность организации гальванической развязки цепи подключения источника тока к пациенту накладывает ограничения на использование устройств ЭИТ совместно с медицинскими изделиями, воздействие которых на пациентов сопровождается выделением большого количества энергии (дефибрил-

ляторы, аппараты высокочастотной электрохирургии, коагуляторы и др.). В случае применения данных аппаратов, устройство МРЭИТ должно быть отключено от пациента во избежание повреждения его внутренних схем.

2. Программные ограничения.

2.1. Объемы хранения результатов измерения и реконструкции и задержки вывода результатов исследования, связанные с задержками получения измерительной информации и работой алгоритмов реконструкции.

Для традиционной двумерной электроимпедансной томографии доступна частота вывода изображений в 20–60 кадров в секунду [7], в то время как для МРЭИТ данный показатель может ухудшиться пропорционально увеличению количества измерительных каналов. Следствием роста количества измерительной информации является построение большего числа томографических срезов в результате реконструкции полученных данных.

Как было указано ранее, увеличение количества измерительных каналов приводит к усложнению алгоритмов управления коммутацией измерительных каналов, кроме того, неизбежно усложнение алгоритмов реконструкции поля проводимости внутренних структур ИО. Применение традиционных алгоритмов реконструкции является ресурсоемким процессом, что ведет к увеличению времени обработки и необходимости использования более быстродействующих элементов аппаратно-программного комплекса для увеличения скорости вычислений и обработки информации [2, 9].

Для МРЭИТ следует также рассмотреть вопрос оптимизации алгоритмов сжатия и обработки измерительной информации для дальнейшего хранения и реконструкции [10, 11].

2.2. Разрешающая способность метода.

Следует отметить также ограничения программной части, связанные с низкой разрешающей способностью традиционного метода ЭИТ по сравнению с традиционными методами медицинской визуализации, такими как рентгеновская (компьютерная, КТ) или магнито-резонансная томография (МРТ), ультразвуковые исследования (УЗИ). В отличие от указанных методов, использующих воздействие проникающих излучений, распространяющихся в исследуемой среде прямолинейно, при реализации метода ЭИТ размер элемента изображения нелинейно зависит от проводящих свойств ИО и расположения электродов (показано на рис. 2) [9, 10].

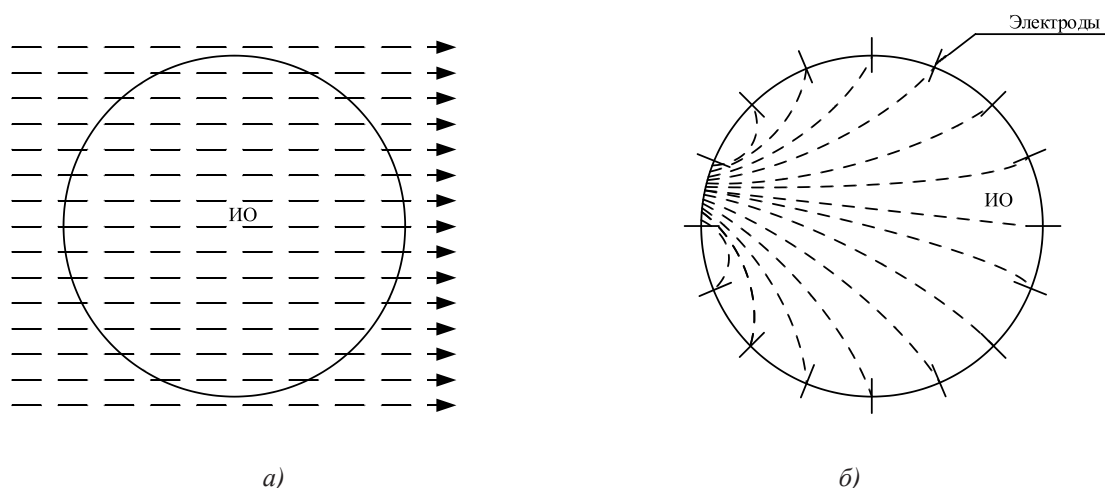


Рис. 2. Распространение проникающего излучения (МРТ, КТ) (а), распространение электрического тока в исследуемой среде при ЭИТ (б)

На полученный результат измерений влияет способность устройства различать малые изменения разности потенциалов отдельных участков ИО. Проблема заключается в распределении электрического тока на поверхности ИО и резкого снижения плотности инжектируемого тока по мере приближения к центру объекта [9], что проиллюстрировано на рис. 2, б.

3. Общие вопросы реализации метода МРЭИТ.

3.1. Психофизиологические аспекты применения метода МРЭИТ.

Следует отметить, что влияние психофизиологического состояния пациента на объективность получаемых в ходе исследования данных требует дополнительных исследований. Так, например, практическое применение нового метода, сопряженное с необходимостью наложения нескольких электродных поясов пациента, может вызвать волнение пациента и, как следствие, учащение пульса, изменение частоты дыхательных движений и глубины вдоха-выдоха, что может привести к искажению результатов исследования.

3.2. Методическая база (интерпретация результатов исследования), методология проведения испытаний.

Одной из главных проблем реализации метода МРЭИТ на данный момент является недостаток методологической и методической базы по проведению исследований данным методом в современной клинической практике. Высокую доступность перспективного способа медицинской визуализации конечному пользователю ограничивает недостаток стандартизированных методик

проведения медицинских исследований. В связи с этим важным средством развития данного направления является разработка методик проведения исследований с помощью МРЭИТ: рекомендации по разработке руководств пользователя с учетом специфики использования метода, квалификации медицинского персонала, используемой материально-технической базы; указания для каждого этапа проведения исследования: подготовки, получения измерительных данных, их обработки и интерпретации. Определение пороговых показателей выявления инородных предметов, скоплений жидкости, нарушений внутренних структур, в зависимости от возраста, конституции, пола биологического объекта также требует проведения дополнительных исследований. Необходимы исследования с целью увеличения объема статистических данных о физически здоровых пациентах и пациентах с патологиями различных классификаций, в зависимости от пола, возраста, хронических и острых заболеваний, что будет благоприятствовать разработке новых стандартов проведения исследований данным методом и интерпретации их результатов.

3.3. Связанные с этим перспективы получения разрешительных документов, проведение сертификационных испытаний.

Следствием описанного выше недостатка методологической поддержки метода является отсутствие стандартизованных технических условий и требований для аппаратов, его реализующих. В настоящее время к аппаратно-программным комплексам МРЭИТ могут быть применены только общие требования, например, описанные

ранее по электробезопасности, электромагнитной совместимости [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, проведенное исследование показывает, что ряд ограничений (сложность схемотехнических решений, низкая скорость вывода изображений, отсутствие методической базы, в том числе для проведения сертификационных испытаний) носят временный характер. В то же время такие ограничения, как низкая относительно традиционных методов медицинской визуализации разрешающая способность, возможность использования устройств, реализующих метод МРЭИТ, совместно с дефибрилляторами, электрохирургическими аппаратами, коагуляторами, обусловлены физическими явлениями, лежащими в основе метода, могут быть в некоторой степени минимизированы, например, путем усовершенствования алгоритмов, лежащих в основе программного обеспечения, введением каналов синхронизации применяемых устройств, но не решены полностью.

Заключение

Устройство МРЭИТ позволяет получить более информативную визуализацию реконструируемых данных, полученных в ходе измерений электрических потенциалов на поверхности исследуемого объекта. Метод обладает определенными ограничениями, которые влияют на качество полученного результата. Скорость обработки данных зависит от ограничений, связанных с программной частью устройства. Ограничения в аппаратной части также вносят в измерительный процесс задержки, а также влияют на точность полученных данных. Дополнительных исследований требует внедрение различных конфигураций поясов пациента и методов их наложения. Рассмотрено взаимное влияние устройства МРЭИТ и других медицинских приборов, однако недостаточно исследовано воздействие данных устройств на достоверность проводимых с их помощью измерений. Следует отметить отсутствие единой базы данных и сертифицированных технических решений, что ведет к замедлению внедрения метода многоракурсной электроимпедансной томографии.

Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8 «Разработка теоретических основ и алгоритмов многоракурсной электроимпедансной томографии для систем неинвазивной трехмерной медицинской визуализации».

Список литературы

1. Коломиец В.Я. Электроимпедансная томография – новый метод респираторного мониторинга // Поликлиника. 2013. С. 34–35.
2. Лакеев И.К., Корженевский А.В., Туйкин Т.С. Разработка программного обеспечения для многопроцессорной архитектуры персонального электроимпедансного маммографа ПЭМ // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 12. С. 1–13.
3. Алексанян Г.К., Денисов П.А., Кучер А.И. Исследование применимости натурно-модельного подхода для задач реконструкции поля проводимости при многочастотной электроимпедансной томографии // Фундаментальные исследования. 2016. № 11–5. С. 895–899.
4. Алексанян Г.К., Кучер А.И., Нескребин Д.Г. Разработка 64-электродной системы для исследования объемных объектов методом электроимпедансной томографии // Новая наука: стратегии и векторы развития: материалы международной. науч.-практ. конф. (Стерлитамак, 19.11.2015 г.). Стерлитамак: РИЦ АМИ. 2015. № 5–2. С. 117–119.
5. Andy Adler, William R.B. Lionheart. Uses and abuses of EIDORS: An extensible software base for EIT. Physiological measurement. 2006. Vol. 27. P. 25–42.
6. Kyriacou G.A., Koukourlis C.S., Sahalos J.N. A reconstruction algorithm of electrical impedance tomography with optimal configuration of the driven electrodes. IEEE Trans. Med. Imag. 1993. V. 12. P. 430–438.
7. Teschner E., Imhoff M., Leonhardt S. Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring/ 2nd edition. Dräger Medical GmbH [Electronic resource]. URL: https://www.draeger.com/library/content/rsp_eit_booklet_9066788_en_2.pdf (date of access: 29.09.2017).
8. ГОСТ Р МЭК 60601-1-2-2014 Изделия медицинские электрические. Часть 1–2. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик. Параллельный стандарт. Электромагнитная совместимость. Требования и испытания. М.: Стандартинформ, 2014. 110 с.
9. Шерина Е.С., Старченко А.В. Численное моделирование задачи электроимпедансной томографии и исследование подхода на основе метода конечных объемов // Бюллетень сибирской медицины. 2014. Т. 13. № 4. С. 156–164.
10. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Моделирование биологических объектов в электроимпедансной томографии // Известия Томского политехнического университет. 2004. Т. 307. № 2. С. 148–153.
11. Aleksanyan G.K., Gorbatenko N.I., Kucher A.I., Shirokov K.M., Chan Nam Phong Developing Principles and Functioning Algorithms of the Hardware-software Complex for Electrical Impedance Tomography of Biological Objects. Bioscience Biotechnology Research Asia-2015. Vol. 12. Spl. Edn. 2. P. 709–718.

СТАТЬЯ

УДК 004:519.67

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА КРИВИЗНУ

Нефедова В.А., Дубанов А.А.

ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова», Улан-Удэ,
e-mail: emelyanovatorik@gmail.com, alandubanov@mail.ru

Предметом исследования в нашей статье является моделирование и расчет оптимальной траектории между преследующим и преследуемым объектом. Предлагается метод имитационного моделирования, позволяющий решать практические исследовательские задачи. В статье описаны этапы моделирования траектории движущегося тела, имеющей ограничение по кривизне, следует учесть то, что тело, движущееся по заданной траектории, начинает движение под начальным заданным углом и завершает его также под определенным углом. Наша задача имеет прикладное значение, так как рассматривается подход к организации маршрутной траектории полета летательного аппарата в вертикальной плоскости при наличии ограничений на переменные состояния. Основные результаты работы: введены математические модели движущихся тел, приведены расчеты для моделирования их траектории в каждый момент времени движения. Разработан программный код для математического моделирования траектории согласно поставленной задачи на основе аппарата аналитической геометрии, построение моделируемой траектории осуществлено в некотором классе функций. На основе этого описывается новый алгоритм планирования траектории. Данный алгоритм решения задачи является актуальным, так как результаты работы могут найти свое применение при решении прикладных задач робототехники, авиамоделирования, ракетного моделирования и др. Решение задачи в виде программного кода было произведено в среде программирования MathCAD.

Ключевые слова: моделируемая траектория, имитационное моделирование, траектория летательных аппаратов, ограничение по кривизне, преследующий объект, касательная к траектории

MODELING TRAJECTORIES WITH CURVATURE RESTRICTIONS

Nefedova V.A., Dubanov A.A.

Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, Ulan-Ude,
e-mail: emelyanovatorik@gmail.com, alandubanov@mail.ru

The subject of research in our article is the modeling and calculation of the optimal trajectory between the pursuing and the pursued object. A simulation method is proposed that allows solving practical research problems. The article describes the steps of modeling the trajectory of a moving body with a curvature restriction. It should be taken into account that a body moving along a given trajectory begins to move at an initial given angle and also completes it at a certain angle. Our task is of practical importance, since the approach to organizing the route of the aircraft in the vertical plane is considered in the presence of restrictions on state variables. The main results of the work, mathematical models of moving bodies are introduced, calculations for modeling their trajectories at each moment of time of motion are presented. The program code for mathematical modeling of the trajectory according to the task on the basis of the apparatus of analytical geometry is developed, the construction of the simulated trajectory is carried out in a certain class of functions. Based on this, a new path planning algorithm is described. This algorithm for solving the problem is relevant as the results of the work can be applied to solve applied problems of robotics, aircraft modeling, rocket modeling, etc. The solution to the problem, in the form of program code, was performed in the MathCAD programming environment.

Keywords: simulated trajectory, simulation, trajectory of aircraft, curvature restriction, pursuing object, tangent to the trajectory

В настоящей статье мы рассмотрим вопросы моделирования траекторий между преследующим и преследуемым объектами. На плоскости (или на поверхности) передвигаются два объекта, так как мы интерпретируем нашу задачу в задаче преследования, это участники задачи преследования. Объекты, преследующий и преследуемый, будут двигаться по определенной траектории преследования. Моделируемая траектория должна удовлетворять некоторым условиям. Одно из условий – это то, что минимальный радиус кривизны траектории не должен быть меньше некоторого порогового значения. Еще одно условие в рассматриваемой задаче – это то, что моделируемая траекто-

рия выходит под определенным углом из точки нахождения преследующего объекта и приходит в точку нахождения преследуемого объекта также под заданным углом. Будем рассматривать моделирование траектории в каждый момент времени, что предполагает точность вычислений. Теоретические положения для данной работы изложены в источниках [1, 2]. Некоторые особенности моделирования составных кривых взяты из источника [3].

Цель исследования: моделирование оптимальной траектории движения в каждый момент времени, при наличии ограничений на кривизну. Также, при заданных углах выхода преследующего объекта из точки нахождения и прихода в конечную точку пре-

следуемого объекта под заданным углом. И описание нового алгоритма планирования заданной траектории в виде программного кода для применения нашего решения на практических задачах в областях робототехники, авиамоделирования, моделирования робототехнических комплексов и других моделях, где присутствуют элементы задачи преследования.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим случай на горизонтальной плоскости проекций. Пусть преследуемый объект движется по траектории $R_r(t) = \begin{bmatrix} x_r(t) \\ y_r(t) \end{bmatrix}$, а преследующий объект движется по траектории $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$ (рис. 1).

В нашей задаче, которая решается в настоящей статье, моделирование траектории в каждый момент времени t . Моделируемая траектория может выходить из точки $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$ под любым углом. Но в программном коде, написанном по материалам статьи, мы приняли угол между касательной к моделируемой траектории и касательной к траектории $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$ равным 0, что не имеет принципиального значения в плане моделирования алгоритма. Также угол между касательной к моделируемой траектории и касательной к траектории $R_r(t) = \begin{bmatrix} x_r(t) \\ y_r(t) \end{bmatrix}$ в листинге программы принят равным $\frac{\pi}{2}$. При этом моделируемая траектория имеет ограничения по своей кривизне. То есть радиус кривизны моделируемой кривой не может быть меньше некоторой пороговой величины. Реализация

тестовых программ будет сделана в системе компьютерной математики MathCAD. Поскольку мы имеем дело с динамическими объектами, результат будет снабжен ссылкой на анимированные изображения.

При моделировании траекторий в задачах преследования, приняты во внимание работы, посвященные динамическим играм преследования [4], групповому преследованию [5], простому преследованию [6], расчету длин траекторий в задачах преследования [7].

Также использовались результаты, достигнутые в работе по играм преследования с интегрально-геометрическими ограничениями на функции управления преследователя [8].

Как возможность применения результатов, полученных в данной статье, рассматривалась работа моделирования задачи преследования в нейронных сетях [9].

Также приняты во внимание при написании статьи методы коллективного преследования, изложенных в работах [10, 11].

Результаты исследования и их обсуждение

Моделирование окружности у преследующего объекта

Мы уже говорили, что преследующий объект движется по траектории

$$R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix} \quad (\text{при моделировании общего алгоритма})$$

угол между траекторией и ее касательной не имеет принципиального значения). Выполнение условия того, что угол между касательными к моделируемой

траектории и к траектории $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$

равен 0, и условие ограничения по кривизне, приводят к построению окружности, изображенной на рис. 2.

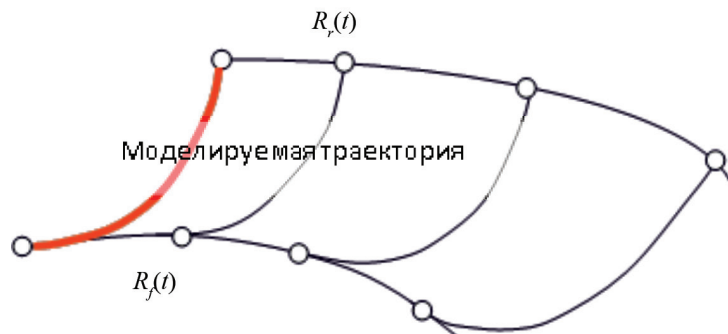


Рис. 1. Моделируемая траектория

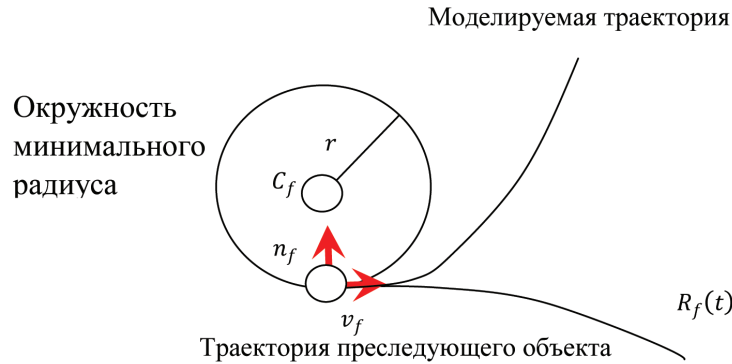


Рис. 2. Окружность к траектории преследующего объекта

На рис. 2 показано, что вдоль траектории преследующего объекта $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$ формируется локальный динамический базис (v_f, n_f) , где v_f – единичный вектор, сонаправленный с вектором скорости $V_f(t) = \frac{dR_f(t)}{dt}$ преследующего объекта. Вектор n_f – есть вектор нормали к касательной к траектории $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$.

Отсюда следует, центр моделируемой окружности $C_f(t)$ формируется следующим образом: $C_f(t) = R_f(t) + r \cdot n_f(t)$, где r – это минимальный пороговый радиус траектории преследующего объекта.

Центр окружности может формироваться иначе (рис. 3): $C'_f(t) = R_f(t) + r \cdot n'_f(t)$. В таком случае (как на рис. 3) моделируемая траектория выходит под углом α к траектории преследующего объекта $R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix}$.

В коде программы, написанной по материалам статьи, угол между траекториями равен 0.

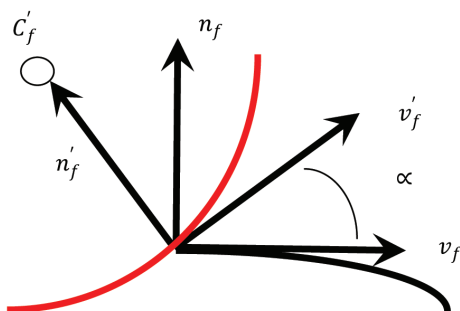


Рис. 3. Формирование окружности на траектории преследующего объекта

Моделирование окружности у преследуемого объекта

Рассмотрим формирование окружности при входе моделируемой траектории в траекторию преследуемого объекта (рис. 4). Здесь центр окружности формируется так:

$$C_r(t) = R_r(t) + r \cdot n_r(t), \text{ где } R_r(t) = \begin{bmatrix} x_r(t) \\ y_r(t) \end{bmatrix} -$$

это точка траектории преследуемого объекта, а r – минимальное значение радиуса моделируемой траектории. Здесь направление вектора $n_r(t)$ полностью определяется направлением вектора $V_m(t)$ скорости моделируемой траектории в момент пересечения с траекторией преследуемого объекта

$R_r(t) = \begin{bmatrix} x_r(t) \\ y_r(t) \end{bmatrix}$. Векторы $n_r(t)$ и $V_m(t)$ должны быть перпендикулярны. В листинге программы по материалам статьи используется перпендикулярность векторов $V_m(t)$ и v_r .

Линии сопряжения между двумя окружностями

Рассмотрим вопрос о сопряжении между двумя окружностями одного радиуса передвигающимися по траекториям

$$R_f(t) = \begin{bmatrix} x_f(t) \\ y_f(t) \end{bmatrix} \text{ и } R_r(t) = \begin{bmatrix} x_r(t) \\ y_r(t) \end{bmatrix} \text{ (рис. 5).}$$

Исходя из данных, представленных на рис. 5, к построению общей касательной между окружностями (C_r, r) и (C_f, r) . Если мы перейдем в систему координат, образованную точкой $C_f(t)$ и векторами (рис. 6):

$$E_1(t) = \frac{C_r(t) - C_f(t)}{|C_r(t) - C_f(t)|}, \quad E_2(t) = \begin{bmatrix} -E_{1y}(t) \\ E_{1x}(t) \end{bmatrix},$$

то задача построения линий сопряжения между двумя окружностями преобразуется к виду, изображенному на рис. 6,

где $L = |C_r - C_f|$. Как видно на рис. 6, существует четыре варианта линии сопряжения. Выбор варианта сопряжения оставим разработчику. Кроме того, существуют варианты расположения окружностей, которые

изображены на рис. 7. В листинге программы, написанной по материалам статьи, мы использовали один вариант взаимного расположения окружностей и построили для демонстрации четыре линии сопряжения.

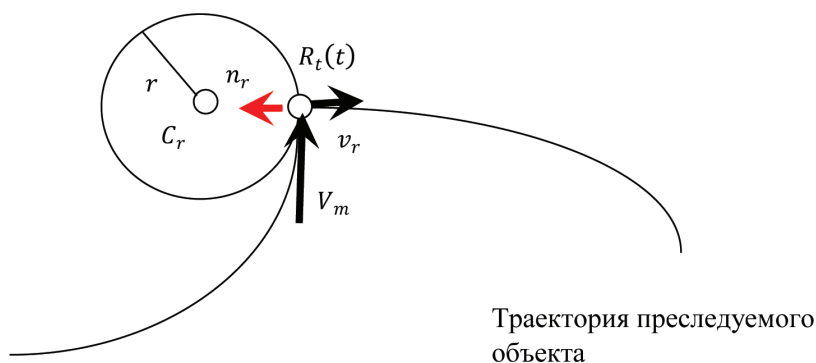


Рис. 4. Моделирование окружности у преследуемого объекта

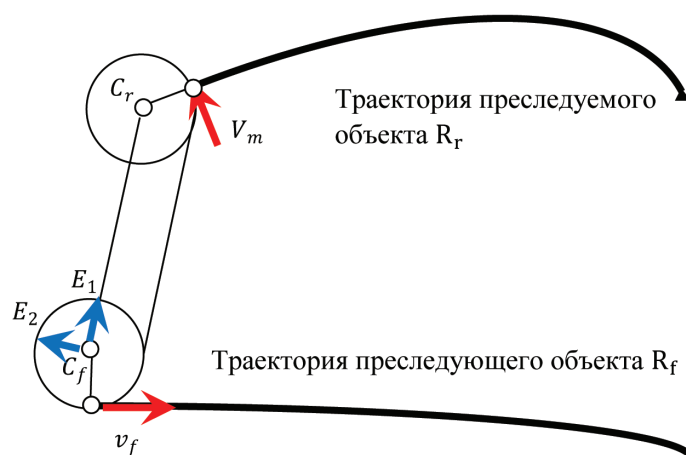


Рис. 5. Линия сопряжения в моделируемой траектории

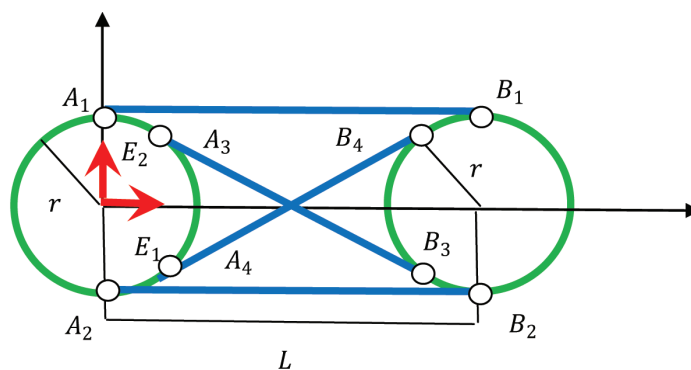


Рис. 6. Сопряжение двух окружностей

Для точек $A_i, B_i, i = 1..4$ на рис. 6 существуют решения:

$$\begin{aligned} A_1 &= \begin{bmatrix} 0 \\ r \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ -r \end{bmatrix}, \\ A_3 &= \begin{bmatrix} 2\frac{r^2}{L} \\ \frac{r}{L}\sqrt{(L-2r)\cdot(L+2r)} \end{bmatrix}, \\ A_4 &= \begin{bmatrix} 2\frac{r^2}{L} \\ -\frac{r}{L}\sqrt{(L-2r)\cdot(L+2r)} \end{bmatrix}, \\ B_1 &= \begin{bmatrix} L \\ r \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} L \\ -r \end{bmatrix}, \\ B_3 &= \begin{bmatrix} \frac{L^2 - 2r^2}{L} \\ -\frac{r}{L}\sqrt{(L-2r)\cdot(L+2r)} \end{bmatrix}, \\ B_4 &= \begin{bmatrix} \frac{L^2 - 2r^2}{L} \\ \frac{r}{L}\sqrt{(L-2r)\cdot(L+2r)} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Но эти решения найдены для локальной системы координат (C_r, E_1, E_1) (рис. 5), чтобы перевести точку P'_i , принадлежащую отрезку $[A_i, B_i]$, в мировую систему координат (O, H_1, H_2) , необходимо выполнить преобразование по формуле

$$P_i = \begin{bmatrix} P'_i \cdot h_1 \\ P'_i \cdot h_2 \end{bmatrix} + C_r,$$

где h_1, h_2 – это векторы $H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ и $H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, разложенные по векторам базиса (C_r, E_1, E_1) , то есть путем преобразования уже в мировую систему координат $h_1 = \begin{bmatrix} H_1 \cdot E_1 \\ H_1 \cdot E_2 \end{bmatrix}$ и $h_2 = \begin{bmatrix} H_2 \cdot E_1 \\ H_2 \cdot E_2 \end{bmatrix}$.

Заключение

Результаты моделирования траекторий

В настоящей статье предлагаются модели и алгоритмы моделирования траектории путем решения задачи преследования. По

результатам, изложенным в данной статье, был написан программный код в системе компьютерной математики MathCAD. С текстом программы можно ознакомиться на следующем ресурсе [12]. Кроме того, по результатам работы программ изготовлено анимированное изображение, которое можно просмотреть в следующем источнике [13].

В процессе выполнения программы моделируемая траектория перейдет на прямую линию, если в момент отрыва от траектории преследуемого объекта совершит движение по часовой стрелке, то есть в обратном направлении. Для перехода на прямолинейный отрезок, точка после отрыва от траектории преследуемого объекта должна совершить путь равный почти полной окружности по направлению против часовой стрелки. Далее мы видим, что точка моделируемой траектории сходится с траектории преследуемого объекта по часовой стрелке и входит в траекторию преследуемого объекта под прямым углом (частный случай нашей постановки задачи, так как в начале при постановке задачи мы задали

угол вхождения $\frac{\pi}{2}$), но уже по направлению часовой стрелки. Точка моделируемой траектории отрывается от траектории преследуемого объекта и переходит на прямолинейный участок (траектория данной точки в этот момент времени становится прямой линией) и входит в траекторию преследуемого по часовой стрелке.

Предполагается, что данные модели и алгоритм решения поставленной задачи являются актуальными так как результаты работы могут быть использованы при решении прикладных задач робототехники, авиамоделирования, моделирования робототехнических комплексов и других моделей, где присутствуют элементы задачи преследования.

Список литературы

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры. М.: Мир, 1967. 480 с.
2. Бурдаков С.В., Сизов П.А. Алгоритмы управления движением мобильным роботом в задаче преследования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 6 (210). С. 49–58.
3. Дубанов А.А. Конструирование базовых элементов формы и параметризация составных поверхностей // Информационные технологии. 2003. № 10. С. 42–51.
4. Ахметжанов А.Р. Динамические игры преследования на поверхностях: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2019. С. 28.
5. Соловьева Н.А. Групповое преследование в рекуррентных дифференциальных играх: 01.01.02-дифференци-

альные уравнения: дис. ... канд. физ.-мат.наук. Ижевск, 2016. С. 97.

6. Измествьев И.В., Ухоботов В.И. Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в форме кольца // Итоги науки и техн. сер. Современ. Мат. и ее прил. Темат. Обз. 2018. Т. 148. С. 25–31.

7. Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В. Расчет длины траектории для задачи преследования // Вестник МГСУ. 2013. С. 20–26.

8. Саматов Б.Т. Задача преследования убегания при интегрально-геометрических ограничениях на управления преследователя // Автомат. и телемех. 2013. № 7. С. 17–28.

9. Романников Д.О. Пример решения минимаксной задачи преследования с использованием нейронных сетей // Сборник научных трудов НГТУ. 2018. № 2 (92). С. 108–116.

10. Пашко С.В. Эффективные стратегии преследования. Основанные на использовании функции Ляпунова // Доклады Национальной академии наук Украины. 2016. № 1. С. 26–33.

11. Пашко С.В. NP-трудность задач оптимизации коллективного преследования // Материалы 8-й Международной конференции по программированию UkrPROG'2014, Украина, Киев, 2014. С. 44–52.

12. Программный код в системе MathCAD представлен. [Электронный ресурс]. URL: <http://dubanov.exponenta.ru/books.htm> (дата обращения: 05.12.2019).

13. Анимированное изображение по результату работы программного кода. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=SNKeL3pKLwo&feature=youtu.be> (дата обращения: 05.12.2019).

СТАТЬЯ

УДК 62-192

**АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРОВ
СЕМЕЙСТВА МТЗ И МЕТОД ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТЫ ARDUINO****Гордиенко В.В.***Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Саратов,
e-mail: v.gordienko@bioterra.su*

В статье приводятся результаты исследований по выявлению факторов, влияющих на надежность работы техники. Приведены литературные данные по отказам узлов и агрегатов тракторов, по наиболее интенсивному изнашиванию деталей и сборочных единиц коробки передач трактора. Исходя из разновидностей методов технической диагностики выбран метод вибрационной диагностики как наиболее эффективный метод диагностирования состояния и оценки степени износа коробки передач. Определен порядок проведения вибрационной диагностики на различных комплексах. Для измерения вибрации были приведены пьезоэлектрические и емкостные акселерометры, так как они имеют малую массу, высокую надежность, низкую чувствительность к изменению температур и другие преимущества перед другими типами датчиков. Предложено использование микроконтроллерной платы Arduino для вибродиагностики коробки передач тракторов семейства МТЗ как более дешевого и удобного в использовании средства вибродиагностики сельскохозяйственной техники. В состав измерительной системы предложено следующее оборудование: емкостный акселерометр BC 202, микроконтроллерная плата Arduino UNO, ноутбук с операционной системой не менее Windows XP, соединительные провода. В качестве программного обеспечения для работы с Arduino предложено бесплатное программное обеспечение Arduino 1.8.7. Приведены основные технические характеристики выбранного оборудования.

Ключевые слова: неисправности коробок передач, метод диагностирования, микроконтроллерная плата Arduino, акселерометр

**ANALYSIS OF MALFUNCTIONS OF TRANSMISSIONS OF TRANSFERS
OF TRACTORS OF THE MTZ FAMILY AND THE METHOD
OF THEIR DIAGNOSIS BASED ON THE ARDUINO MICROCONTROLLER BOARD****Gordienko V.V.***Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, e-mail: v.gordienko@bioterra.su*

The article presents the results of studies to identify factors affecting the reliability of the equipment. Literature data on failures of tractor units and assemblies, on the most intensive wear of parts and assembly units of a tractor gearbox are given. Based on the varieties of technical diagnostic methods, the vibration diagnostic method is chosen as the most effective method for diagnosing the condition and assessing the degree of gearbox wear. The procedure for conducting vibration diagnostics at various complexes is determined. Piezoelectric and capacitive accelerometers were shown to measure vibration, since they have a low mass, high reliability, low sensitivity to temperature changes, and other advantages over other types of sensors. The use of the Arduino microcontroller board for vibration diagnostics of the gearbox of the MTZ family of tractors is proposed as a cheaper and more convenient means of vibration diagnostics of agricultural machinery. The following equipment was proposed to the measuring system: capacitive accelerometer BC-202, Arduino UNO microcontroller board, laptop with an operating system of at least Windows XP, connecting wires. As software for working with Arduino, the free software Arduino 1.8.7 is offered. The main technical characteristics of the selected equipment are given.

Keywords: gearbox malfunctions, diagnostic method, Arduino microcontroller board, accelerometer

Развитие сельского хозяйства в наши дни предполагает использование инновационных технологий, а также модернизацию существующей сельскохозяйственной техники, что в свою очередь требует не только совершенствования технической оснащенности производства, но и эффективного применения и обслуживания технической базы [1].

При работе механизмов, технологических узлов и агрегатов возникает вибрация, которая, как правило, может приводить к сокращению эксплуатационного срока службы механизмов. Для снижения уровня

вибрации должен быть разработан определенный перечень действий, из которых создается план мероприятий. Как правило, все сельскохозяйственные предприятия работают согласно графикам планово-предупредительных работ. При наступлении времени наработки оборудования производятся запланированные виды технического обслуживания. У данного метода есть и недостатки, так как, если детали и узлы еще работоспособны, они в любом случае подлежат замене.

С каждым днем в нашей стране все больше и больше сельскохозяйственных

предприятий, на которых создается современная система технического обслуживания и ремонта машин по фактическому их состоянию. Основным достоинством данной системы является то, что в отличие от регламентированной системы, объем и вид производящих работ изменяется в зависимости от технического состояния узлов и агрегатов на момент проведения работ.

В результате при переходе на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию получается исключить ненужные работы при техническом обслуживании, которые нет необходимости менять, и, как правило, на 30–50% уменьшить продолжительность обслуживания и денежные затраты.

Технический уровень и надежность сельскохозяйственной техники являются важнейшими факторами при выполнении трудоемких процессов в сельском хозяйстве, связанных с технологией возделывания сельскохозяйственных культур (вспашка, посев, уход за посевами, сбор урожая и др.).

До 80% от общего количества тракторов, имеющих в распоряжении сельскохозяйственных предприятий России, отработали свой срок службы, что ограничивает своевременное и качественное проведение полевых работ [2].

Анализ условий, оказывающих влияние на надежность работы тракторов, показывает, что непосредственно при обслуживании и ремонте необходимо выполнение правил обкатки, а также соблюдение требований инструкции по техническому обслуживанию и ремонту тракторов [3]. В процессе исследований были выявлены следующие факторы, влияющие на надёж-

ность: несоблюдение времени обкатки, использование масел, не соответствующих инструкции по техническому обслуживанию и правилам эксплуатации, несоблюдение сроков между ТО, указанных в инструкции по техническому обслуживанию, разбор узлов и механизмов, требующих ремонта, без специального инструмента; эксплуатация тракторов с превышающей нагрузкой [4].

Исходя из опыта работы сельскохозяйственной техники (тракторов) можно сказать, что большая доля затрат и простоев на ремонт приходится на отказы агрегатов трансмиссии до 25% (рис. 1), из которых до 20% – коробка передач.

Данное соотношение показывает, что уменьшение затрат и времени на проведение ремонта для обеспечения работоспособности коробки передач на сегодняшний день является весьма актуальной задачей. Обеспечение работоспособности техники осуществляется в основном по стратегии устранения возникших отказов, несмотря на то, что отказы носят в основном постепенный (закономерный) характер [5].

При работе коробки передач трактора (при изменении крутящего момента и переключении передач) происходит изнашивание деталей и узлов коробки передач (зазоры, посадка). Наиболее интенсивно изнашиваются следующие детали и сборочные единицы коробки передач:

- подшипники;
- посадочные места в корпусе под внутренний диаметр подшипников;
- посадочные места в корпусе под обоймы подшипников валов с картером коробки передач.

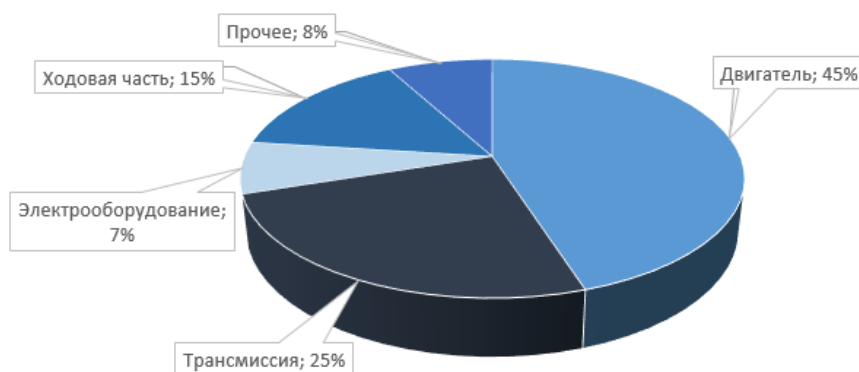


Рис. 1. Процентное соотношение отказов сельскохозяйственной техники (тракторов)

Проведение диагностики технического состояния оборудования может осуществляться на остановленном, вскрытом и работающем агрегатах. В случаях, когда агрегат остановлен и когда агрегат вскрыт, появляется больше возможностей для определения его технического состояния и конкретного вида неисправности. Но есть и недостатки данных способов диагностики, что ограничивает их широкое применение, это необходимость остановки агрегата, что не всегда является возможным в условиях эксплуатации.

Поэтому методы диагностирования оборудования в работающем состоянии на сегодняшний день являются особо важными. Методы акустической, вибрационной, параметрической диагностики получили широкое применение при определении технического состояния оборудования.

Для повышения надежности, производительности диагностики, уменьшения затрат на обслуживание и ремонт машин и оборудования необходимо совершенствовать методы и средства технической диагностики и, в частности, вибродиагностики. Вибродиагностика является наиболее эффективным методом диагностирования состояния и оценки степени износа [6].

Целью исследования является изучение возможности использования микроконтроллерной платы Arduino UNO с акселерометром BC 202 для вибрационной диагностики коробки передач.

Материалы и методы исследования

Проведен сравнительный анализ методик диагностирования оборудования, в том числе и вибрационной диагностики. Сравнивались показатели приборов вибродиагностики, такие как анализатор вибрации двухканальный «Диана-2М» (виброанализатор), виброанализатор СД-23В с акселерометром BC 202 с использованием микроконтроллерной платы Arduino UNO и программного обеспечения Arduino 1.8.7.

Результаты исследования и их обсуждение

Одной из наиболее важных задач вибрационной диагностики является обнаружение дефектов и оценки остаточного ресурса в рабочих условиях эксплуатации. Данная задача основана на измерении и анализе параметров вибрации диагностируемого оборудования и является одной из главных среди других видов диагностики. Она получила широкое применение для диагностики вращающегося оборудования и решает большинство задач определения и прогноза его состояния.

Суть метода вибродиагностики заключается в том, что в качестве диагностической информации используется вибрация работающего агрегата. Данный вибросигнал является носителем информации о различных колебаниях узлов и деталей технологического оборудования. При изменении рабочего состояния его элементов происходит отклонение параметров работы агрегата и тем самым изменение образующих его вибросигналов. Вибрационная диагностика отличается от других методов технической диагностики перечнем характерных особенностей и в первую очередь различным происхождением вибросигналов и высокой информативностью. Своевременное предупреждение возникновения неисправностей в работающем агрегате особо отличает вибрационную диагностику от других методов диагностирования, которые в основном могут осуществлять только контроль за состоянием агрегата и определять неисправности.

В сельском хозяйстве за счет контроля уровня и спектра вибросигнала на работающем оборудовании предоставляется возможность обслуживать и ремонтировать технику по фактическому ее состоянию. Диагностика деталей и узлов машин проводится в рабочем состоянии, без их демонтажа. Исходя из результатов неоднократных измерений можно прогнозировать состояние деталей и узлов агрегатов до 6 месяцев.

По способу получения диагностической информации вибродиагностика подразделяется на функциональную и тестовую.

Функциональная диагностика проводится без нарушения режимов работы агрегата, т.е. при выполнении им своего рабочего функционала. Все измеряемые диагностические параметры, анализ полученных результатов и принятие решения выполняются раньше, чем они формируются по результатам оценки состояния, в случае, когда это необходимо, итоговое воздействие на объект (работа объекта останавливается или объект работает в другом функциональном режиме).

На современном этапе развития вибрационной диагностики, диагностирование коробки передач трактора производится при работающем оборудовании. В этом случае используемые системы вибродиагностики могут быть как стационарными, так и переносными. В связи с тем, что компьютеры получили основную роль в развитии систем виброконтроля, порядок проведения вибродиагностики при применении различных средств измерения вибросигнала практически одинаков:

1. Конфигурация диагностируемого объекта в программном обеспечении системы виброконтроля.

2. Определение параметров диагностирования объекта.

3. Определение точек для измерения вибрации на объекте.

4. Определение способа крепления вибродатчиков и подготовка мест крепления вибродатчиков.

5. Измерение показаний вибрации объекта (вибросигнала).

6. Обработка и дальнейший анализ измеренных показаний вибрации объекта.

7. Подготовка и определение технического состояния объекта.

В настоящее время поиск неисправностей посредством виброакустического метода в машиностроении является все более целесообразным, так как частная разборка неэкономична и нецелесообразна, а поддержание работоспособности механических передач имеет большое значение. Тем не менее у данного метода есть и недостатки, например высокая помеховосприимчивость.

Наибольшее распространение при исследованиях вибрационных процессов получили пьезоэлектрические и емкостные акселерометры. Их основными преимуществами являются: малая масса, высокая надежность, низкая чувствительность к изменению температур, линейность преобразования исходного сигнала и другие преимущества перед другими типами датчиков, например оптическими [7].

Современные приборы вибродиагностики, такие как анализатор вибрации двухканальный «Диана-2М» (виброанализатор), виброанализатор СД-23В, эффективно используются при балансировке вращающегося оборудования, но в связи с их немалой стоимостью целесообразно создать более

дешевое и удобное в использовании средство вибродиагностики сельскохозяйственной техники.

В статье предложено использование микроконтроллерной платы Arduino для вибродиагностики коробки передач тракторов семейства МТЗ.

В состав измерительной системы входит следующее оборудование: емкостный акселерометр BC 202, микроконтроллерная плата Arduino UNO, ноутбук с операционной системой не менее Windows XP, соединительные провода. В качестве программного обеспечения для работы с Arduino используется бесплатное программное обеспечение Arduino 1.8.7.

Емкостный акселерометр BC 202 предназначен для измерения переменной и постоянной составляющей сигнала, в связи с чем он может использоваться как датчик линейных ускорений и датчик положения, а также регистрации сверхнизкочастотных колебаний.

Преимуществами данного акселерометра являются его многофункциональность и простота калибровки.

В табл. 1 представлены основные технические характеристики акселерометра BC 202 [8].

Микроконтроллерная плата Arduino UNO построена на ATmega328 и используется в измерительной схеме в качестве АЦП. На платформе расположены 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, USB разъем, разъем питания, ICSP разъем и кнопка перезагрузки. Для проведения измерения необходимо подключить плату к ноутбуку через USB кабель, либо запитать плату при помощи адаптера на 220В, либо батареей.

Таблица 1
Основные технические характеристики акселерометра BC 202

Параметр	Ед. измерения	Значение
Чувствительность	мВ/г	93,5
Частотный диапазон	Гц	до 500
Относительная поперечная чувствительность	%	≤ 4
Амплитудный диапазон	g±	± 18
Собственные шумы, СКЗ, не более	mg	7
Диапазон измеряемых значений виброускорения	g	от 0,02 до 10
Выходное сопротивление, не более	Ом	500
Ток потребления, не более	мА	5
Напряжение питания	В	5
Уровень постоянного напряжения на выходе (в горизонтальном положении при 0 g)	мВ	1771
Материал корпуса		Нержавеющая сталь
Масса (без кабеля)	г	16

Таблица 2

Основные технические характеристики микроконтроллерной платы Arduino UNO

Параметр	Ед. измерения	Значение
Микроконтроллер		ATmega328
Рабочее напряжение	В	5
Входное напряжение (рекомендуемое)	В	7–12
Входное напряжение (предельное)	В	6–20
Цифровые входы/выходы		14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы		6
Постоянный ток через вход/выход	мА	40
Постоянный ток для вывода 3.3 В	мА	50
Флеш-память	Кб	32 (ATmega328), из которых 0.5 используются для загрузчика
ОЗУ	Кб	2 (ATmega328)
Тактовая частота	МГц	16

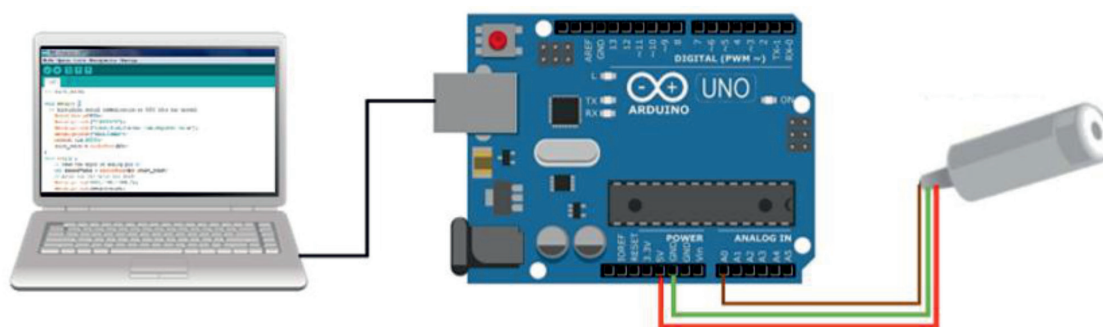


Рис. 2. Схема подключения акселерометра BC 202 к Arduino UNO и ноутбуку

В табл. 2 представлены основные характеристики микроконтроллерной платы Arduino UNO [9].

Схема подключения акселерометра BC 202 к Arduino представлена на рис. 2.

Акселерометр BC 202 имеет три выхода – GND и VCC для питания и вывод аналогового сигнала, который подключается соединительными проводами к любому аналоговому входу, к примеру, A0, а GND и VCC акселерометра – к GND и 5V Arduino UNO соответственно. Плата Arduino UNO соединяется с ноутбуком через провод USB.

Основные преимущества использования микроконтроллерной платы Arduino UNO:

- малая стоимость;
- многообразие микроконтроллерных плат, отличающихся друг от друга размерами;
- простой язык программирования;
- справочники программного кода с большим количеством уже готовых скетчей.

В результате проведенного в статье исследования определен наиболее эффек-

тивный метод диагностирования коробки передач – вибродиагностирования.

Таким образом, в статье были выявлены наиболее изнашиваемые детали и сборочные единицы коробки передач. Описан порядок проведения диагностики и предложен метод вибродиагностирования коробки передач тракторов семейства МТЗ и на основе микроконтроллерной платы Arduino с использованием емкостного акселерометра BC 202.

Список литературы

1. Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы VI Международной научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой году экологии в России / сост. Щербакова Н.А. Солёное Займище, 2017. 1077 с.
2. Хусаинов Р.К. Повышение эффективности эксплуатации тракторов в аграрном производстве с учетом условий их функционирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2016. 20 с.
3. Пуховой А.А., Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Левков В.Г. Руководство по техническому обслуживанию и ре-

мону тракторов «БЕЛАРУС» серий 500, 800, 900. М.: Машиностроение, 2007. 438 с.

4. Максимов Е.А. Динамика распределения отказов тракторов в зависимости от условий эксплуатации // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (58). С. 62–68.

5. Закирьянов Л.С. Организация ремонта агрегатов грузовых автомобилей с разработкой оборудования для ремонта КПП // Молодежь и наука. 2018. № 4. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_35358587_46781899.pdf (дата обращения: 27.12.2019).

6. Аксенов И.И., Филонов С.А. Совершенствование системы вибродиагностики сельскохозяйственной техники // Инновационные технологии и технические средства для

АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Воронеж, 2016. С. 3–9.

7. Комаров В.А. Формирование структуры и содержания ремонтно-обслуживающих воздействий на агрегаты автомобилей сельскохозяйственного назначения: автореф. дис. ... док. техн. наук: Саранск, 2016. 37 с.

8. ZETLAB. [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shop/datchiki/akselerometry/emkostnyie-akselerometryi-datchik-lineynogo-uskoreniya/vs-202/> (дата обращения: 27.12.2019).

9. Arduino.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (дата обращения: 27.12.2019).

СТАТЬЯ

УДК 004.8

**МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА
НА ОСНОВЕ ФРАЗОВОГО ВЫРАВНИВАНИЯ****Козина А.В., Черепков Е.А., Белов Ю.С.***Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: fn1-kf@mail.ru*

В настоящее время одним из наиболее эффективных подходов в области разработки систем машинного перевода (МП) является подход на основе выравнивания фраз. Методы на основе такого подхода используют непрерывные последовательности слов в качестве единиц перевода. Выравнивание потенциально может улучшить качество систем машинного перевода, поскольку учитывает общие отношения, порядок, контекст между словами. В данной статье предлагается подход к оценке качества машинного перевода с использованием фразового выравнивания. Вводятся функции выравнивания в пределах фразы и за её границами, а также функция покрытия, функция корреляции между частотами исходных и целевых фраз. На основе предложенных функций строится итоговая модель оценки машинного перевода. Проводится тестирование разработанной модели. Определяется наиболее подходящая размерность N-грамм – N последовательных слов для каждой фразы выравнивания. Проводится сравнение данного подхода с традиционными метриками оценки качества перевода, такими как BLEU, GTM, TER и METEOR. Результаты показывают, что предлагаемый подход имеет наилучшую производительность, а также для набора данных WMT 2013 обеспечивает повышение точности не менее 13,92% по сравнению с традиционными метриками.

Ключевые слова: оценка качества машинного перевода, выравнивание в машинном переводе, выравнивание на основе слов, выравнивание на основе фраз, BLEU, GTM, TER, METEOR

**QUALITY ASSESSMENT APPROACH OF MACHINE TRANSLATION
BASED ON PHRASES ALIGNMENT****Kozina A.V., Cherepov E.A., Belov Yu.S.***Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, e-mail: fn1-kf@mail.ru*

Currently, one of the most effective approaches in the field of developing machine translation (MT) systems is an approach based on phrase alignment. Methods based on this approach use continuous sequences of words as translation units. Alignment can potentially improve the quality of machine translation systems, since it takes into account general relationships, order, context between words. This article proposes an approach to assessing the quality of machine translation using phrase alignment. Alignment functions are introduced within the phrase and beyond its boundaries, as well as a coverage function, a correlation function between the frequencies of the source and target phrases. Based on the proposed functions, the final model for evaluating machine translation is built. The developed model is being tested. The most suitable dimension of N-grams is determined – N consecutive words for each alignment phrase. This approach is compared with traditional translation quality assessment metrics, such as: BLEU, GTM, TER and METEOR. The results show that the proposed approach has the best performance, and for the WMT 2013 dataset it provides an increase in accuracy of at least 13.92% compared to traditional metrics.

Keywords: evaluation of the quality of machine translation, alignment in machine translation, word-based alignment, phrase-based alignment, BLEU, GTM, TER, METEOR

Этап выравнивания является важной частью машинного перевода, который заключается в определении соответствия между словами/фразами имеющими одинаковое значение на одном языке со словами/фразами на другом языке. Результатом выравнивания является параллельный текст, который используется для инициализации систем машинного перевода [1]. Улучшение выравнивания позволяет увеличить точность создаваемого системой перевода и кроме того способно внести значительный вклад при оценке качества такого перевода. Целью исследования является разработка подхода к оценке качества машинного перевода с использованием фразового выравнивания.

Механизм выравнивания на основе слов

Рассмотрим механизм выравнивания на примере [2]. Одним из способов визуализации задачи выравнивания является матрица (рис. 1).

Здесь соответствующие выравнивания между словами представлены точками в матрице выравнивания. Выравнивания слов не обязательно должны иметь однозначное соответствие. Слова могут иметь несколько точек выравнивания или не иметь их вовсе. Так, на рис. 1 английское слово *assumes* соответствует трем немецким словам *geht davon aus*. Однако не всегда легко установить корректное выравнивание слов. Основная проблема заключается в том, что

некоторые слова не имеют четкого эквивалента на другом языке.

	michael	geht	davon	aus	.	dass	er	im	haus	bleibt
michael	■									
assumes		■	■	■						
that						■				
he							■			
will										■
stay										■
in								■		
the								■		
house									■	

Рис. 1. Пример матрицы выравнивания слов: Слова на английском языке (строки) выровнены по словами на немецком языке (столбцы), как указано точками в матрице

Для учета выравнивания по нескольким словам можно применить модель выравнивания в двух направлениях: от источника к цели и от цели к источнику. Полученные в результате выравнивания слова могут быть объединены, например, путем объединения точек пересечения или объединения всех точек выравнивания. Этот про-

цесс обычно называют симметризацией выравнивания [2].

Механизм выравнивания на основе фраз

Как уже было указано ранее, иногда одно слово на исходном языке переводится как два или более слова на целевом языке. Процесс симметризации не всегда помогает исправить подобную ситуацию [3]. Один из вариантов решения данной проблемы – использовать более крупные единицы перевода, например фразы. Процесс выравнивания на основе фраз включает в себя два шага:

- создание выравнивания на основе слов между каждой парой предложений параллельного корпуса;
- извлечение фразовых пар, которые соответствуют полученному выравниванию слов.

Для рассматриваемого примера пошаговый процесс извлечения выровненных фраз отражен в таблице.

Оценка выравнивания для каждой пары фраз $(\hat{s}, \hat{t})$ строится поверх оценок выравнивания слов следующим образом:

$$\beta_s(\hat{s}, \hat{t}) = - \sum_{s_i \in \hat{s}} \sum_{t_j \in \hat{t}} \ln a_s(i, j), \quad (1)$$

$$\beta_t(\hat{s}, \hat{t}) = - \sum_{s_i \in \hat{s}} \sum_{t_j \in \hat{t}} \ln a_t(i, j). \quad (2)$$

Процесс извлечения выровненных фраз

Этап	Фраза на английском языке	Фраза на немецком языке
1	michael	michael
2	michael assumes	michael geht davon aus; michael geht davon aus,
3	michael assumes that	michael geht davon aus, dass
4	michael assumes that he	michael geht davon aus, dass er
5	michael assumes that he will stay in the house	michael geht davon aus, dass er im haus bleibt
6	assumes	geht davon aus; geht davon aus,
7	assumes that	geht davon aus, dass
8	assumes that he	geht davon aus, dass er
9	assumes that he will stay in the house	geht davon aus, dass er im haus bleibt
10	that	dass ; , dass
11	that he	dass er ; , dass er
12	that he will stay in the house	dass er im haus bleibt ; , dass er im haus bleibt
13	he	er
14	he will stay in the house	er im haus bleibt
15	will stay	bleibt
16	will stay in the house	im haus bleibt
17	in the	im
18	in the house	im haus
19	house	haus

Функция внешнего выравнивания

Выравнивание подразумевает не только то, что слова в пределах исходной фразы выровнены со словами в пределах целевой фразы, но также что оставшаяся часть исходного предложения, выровнена с подобной частью целевого предложения. Предположим, что набор фраз в исходном предложении – S , в целевом – T . Функция внешнего выравнивания будет выглядеть следующим образом:

$$f_{os}(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') = -\ln \sum_{\hat{s}_i \in S_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \phi_{os}(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') = -\ln \sum_{\hat{s}_i \in S_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \frac{\sum_{\hat{t}_j \in T_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \beta_t(\hat{s}_i, \hat{t}_j)}{\sum_{\hat{t}_j \in T_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \beta_t(\hat{s}_i, \hat{t}_j)}, \quad (3)$$

$$f_{or}(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') = -\ln \sum_{\hat{t}_j \in T_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \phi_{or}(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') = -\ln \sum_{\hat{t}_j \in T_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \frac{\sum_{\hat{s}_i \in S_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \beta_s(\hat{s}_i, \hat{t}_j)}{\sum_{\hat{s}_i \in S_{out}, \hat{s}', \hat{t}'} \beta_s(\hat{s}_i, \hat{t}_j)}, \quad (4)$$

s_{out} и t_{out} – набор фраз за пределами соответствия между $\hat{s}'$ и $\hat{t}'$.

Функция покрытия

Кроме того, полезно учесть, какую часть переводимого текста покрывает рассматриваемая фраза. Пусть $\hat{s}$ и $\hat{t}$ представляют исходную и целевую фразы, S и T представляют исходное и целевое предложения. Отношения $\frac{|\hat{s}|_{words}}{|S|_{words}}$ и $\frac{|\hat{t}|_{words}}{|T|_{words}}$ отражают покрытие текста каждой выровненной фразой (1 – предложение охвачено полностью, 0 – отсутствие покрытия). Соответствующие функции выглядят следующим образом:

$$f_{sc}(\hat{s}, \hat{t}) = \phi_{sc}(\hat{s}, \hat{t}) = \frac{|\hat{s}|_{words}}{|S|_{words}}, \quad (5)$$

$$f_{tc}(\hat{s}, \hat{t}) = \phi_{tc}(\hat{s}, \hat{t}) = \frac{|\hat{t}|_{words}}{|T|_{words}}. \quad (6)$$

Корреляция между частотами исходных и целевых фраз

С целью сохранить количество предложений в корпусе, в которых встречается конкретная выровненная фраза, вводится дополнительная функция. Пусть $C(\hat{s})$ – число вхождений фразы $\hat{s}$ в корпус. Аналогичным образом, $C(\hat{t})$ – число вхождений фразы $\hat{t}$ в корпус. Функция частот будет выглядеть следующим образом:

$$f_{freq}(\hat{s}, \hat{t}) = \phi_f(\hat{s}, \hat{t}) = \frac{(C(\hat{s}) - C(\hat{t}))^2}{(C(\hat{s}) + C(\hat{t}) + 1)^2}. \quad (7)$$

Функция итоговой оценки

Учитывая пару фраз $(\hat{s}, \hat{t})$ и выровненное соответствие $(\hat{s}', \hat{t}')$, определяется функция $\phi_f(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}')$ для обеспечения единого представления функций, описанных ранее:

$$\phi(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') = \begin{cases} f(\hat{s}, \hat{t}) & \text{если } (\hat{s}', \hat{t}') \text{ не существует} \\ f(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}') & \text{если } (\hat{s}', \hat{t}') \text{ существует} \end{cases} \quad (8)$$

Используем метод аппроксимации логарифмической модели для оценки единиц машинного перевода [4]. Общая функция оценки $E(\hat{s}, \hat{t}, \theta)$ для пары фраз $(\hat{s}, \hat{t})$ будет выглядеть следующим образом:

$$E(\hat{s}, \hat{t}, \theta) = \ln \sum_{\hat{s}', \hat{t}'} e^{\sum_{i, \hat{s}', \hat{t}'} \Phi_i(\hat{s}, \hat{s}', \hat{t}, \hat{t}')}. \quad (9)$$

Результаты работы метода

Для оценки предложенного подхода использовался набор данных WMT 2013. Данные сопровождаются широким спектром языковых пар. В данной работе рассматривались две пары параллельных корпусов: французско-английский и испанско-английский. Параллельные корпуса сопровождаются ручными и автоматическими оценками перевода [5]. Для оценки эффективности дан-

ного подхода результаты сравнивались с традиционными метриками оценки МП, такими как BLEU [6], GTM, TER и METEOR [7].

Для определения корреляции с человеческими суждениями использовался коэффициент корреляции баллов Спирмана.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_{ij}^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (10)$$

где d_{ij} – евклидово расстояние, вычисляемое как разница между данной метрикой оценки и оценкой суждения человека, n – число переводов.

В предлагаемом подходе необходимо было выбрать наиболее подходящую размерность N -грамм. N -грамма состоит из N последовательных слов для каждой фразы выравнивания. Рис. 2, 3 демонстрируют влияние выбора различных значений N на точность предложенного подхода.

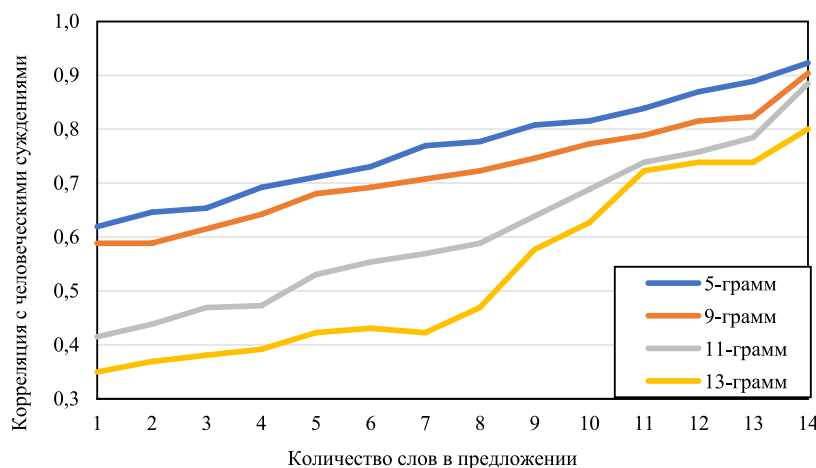


Рис. 2. Влияние разной длины N -грамм на корреляцию с суждениями человека с использованием французско-английских данных WMT 2013

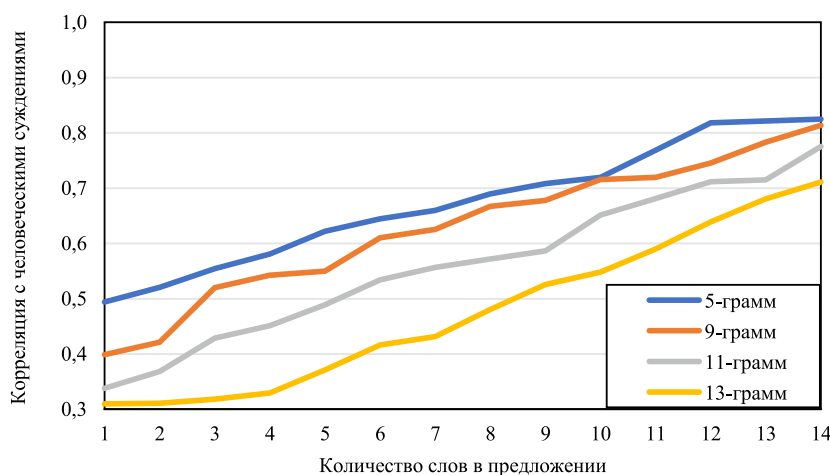


Рис. 3. Влияние разной длины N -грамм на корреляцию с суждениями человека с использованием испанско-английских данных WMT 2013

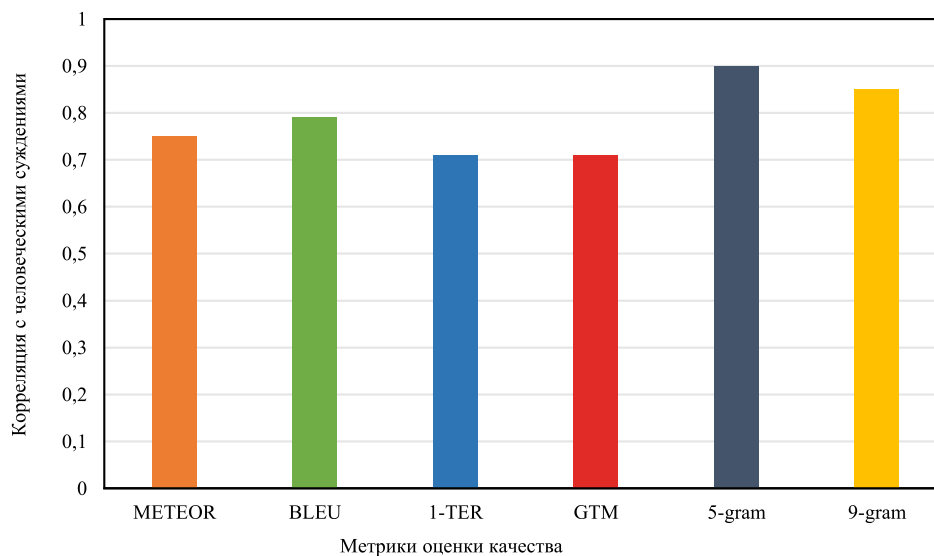


Рис. 4. Сравнение с использованием французско-английских данных WMT 2013

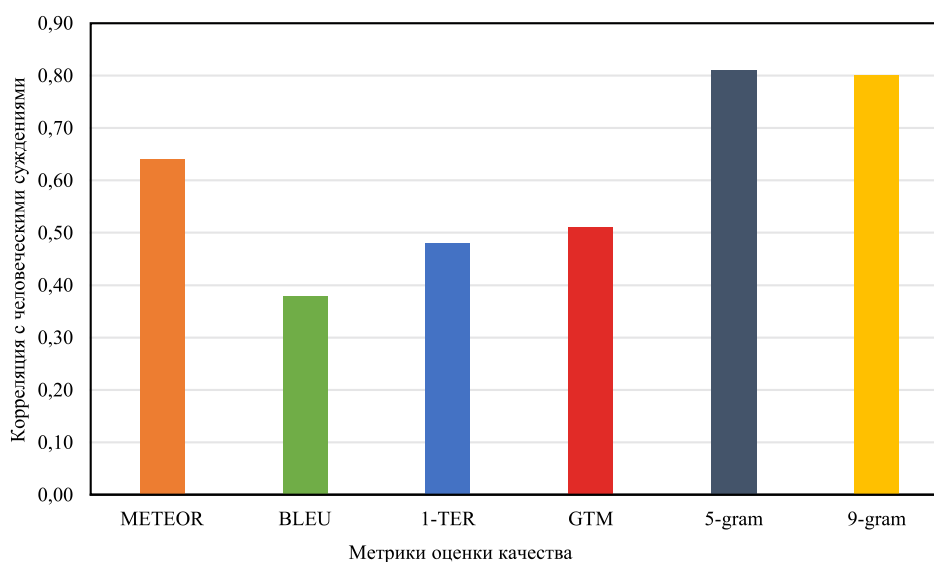


Рис. 5. Сравнение с использованием испанско-английских данных WMT 2013

Было обнаружено, что уменьшение значения N приводит к устойчивому улучшению корреляции с человеческими суждениями. В связи с этим было решено проводить дальнейшее тестирование с N -граммами в размере 5 и 9 слов.

На рис. 4, 5 представлена сводная информация о результатах корреляции предлагаемого подхода в сравнении с другими метриками.

Результаты показали, что предлагаемый подход имеет наилучшую производитель-

ность на тестируемом наборе данных. Предложенный подход обеспечивает повышение точности не менее чем на 3,85 %.

Заключение

Таким образом, разработанный в данной работе подход показывает лучшие результаты в сравнении с традиционными метриками машинного перевода. Данный подход имеет потенциал, может быть в дальнейшем улучшен, например, введением дополнительных вероятностных функций

с учетом различных границ выравнивания, а также с включением человеческих оценок в процесс обучения системы.

Список литературы

1. Козина А.В., Черепков Е.А., Белов Ю.С. Обзор подходов к машинному переводу // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=19408> (дата обращения: 25.12.2019).
2. Koehn P. Statistical Machine Translation, 1st ed. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2010. P. 488.
3. Ondřej Bojar, Rajen Chatterjee, Christian Federmann, Barry Haddow, Matthias Huck, Chris Hokamp, Philipp Koehn, Varvara Logacheva, Christof Monz, Matteo Negri, Matt Post, Carolina Scarton, Lucia Specia, and Marco Turchi. Findings of the 2015 workshop on statistical machine translation. In Proceedings of the Tenth Workshop on Statistical Machine Translation. Lisbon, Portugal // Association for Computational Linguistics. 2015. vol. Proceedings of the Tenth Workshop on Statistical Machine Translation. P. 1–46. [Electronic resource].

URL: <https://www.aclweb.org/anthology/W15-3001> (date of access: 25.12.2019).

4. Phillips B. Cunei: Open-Source Machine Translation with Relevance-Based Models of Each Translation Instance // Machine Translation. 2011. vol. 25. no. 2. P. 161–177. DOI: 10.1007/s10590-011-9109-6.
5. Козина А.В., Черепков Е.А., Белов Ю.С. Автоматические метрики оценки качества машинного перевода // Системный администратор. 2019. № 11 (204).
6. Chen B., Cherry C. A systematic comparison of smoothing techniques for sentence-level BLEU // Association for Computational Linguistics. 2014, vol. Proceedings of the Ninth Workshop on Statistical Machine Translation. P. 362–367. [Electronic resource]. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/W14-3346> (date of access: 25.12.2019).
7. Liu C., Dahlmeier D., H.T. Ng. Better evaluation metrics lead to better machine translation. // Association for Computational Linguistics. 2011, vol. Proceedings of the 2011 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. P. 375–384. [Electronic resource]. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/D11-1035> (date of access: 25.12.2019).

СТАТЬЯ

УДК 004.45

**КЛАССИФИКАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ
И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ****Прасолова Е.А., Белоусова И.Д.***ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: prasolova.liza@yandex.ru*

Актуальность данной темы обосновывается тем, что в современном мире невозможно представить деятельность компаний без автоматизации их процессов. Это касается в том числе систем, предназначенных для эффективного выполнения процессов маркетинговой деятельности каждой компании. В наши дни маркетинг играет большую роль в стратегическом управлении предприятием. Благодаря появлению большого количества информационных систем, поддерживающих выполнение тех или иных процессов в сфере маркетинга, повышается точность проводимых исследований рынка и потребителей, увеличивается адекватность получаемой информации из внешней среды, снижается влияние человеческого фактора на результаты деятельности и повышается эффективность выполнения маркетинговых бизнес-процессов в целом. Все это оказывает влияние на концепцию и стратегию управления, на принятие решений высшего руководства компаний о дальнейшем направлении развития и преобразования компании. Однако ввиду наличия большого выбора на рынке предлагаемых маркетинговых информационных систем компания рискует неэффективно вложить свои финансы в системы, которые не способны покрыть нужды предприятия. В данной статье будет рассматриваться классификация существующих программных продуктов для сферы маркетинга и их способность автоматизировать те или иные процессы маркетинговой деятельности.

Ключевые слова: маркетинг, программные продукты, МИС, сравнительный анализ, система маркетингового планирования и контроля

**CLASSIFICATION OF MARKETING SOFTWARE PRODUCTS
AND THEIR COMPARATIVE ANALYSIS****Prasolova E.A., Belousova I.D.***Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: prasolova.liza@yandex.ru*

The relevance of this topic is justified by the fact that in the modern world it is impossible to imagine the activities of companies without automation of their processes. This applies, among other things, to systems designed to effectively implement the marketing processes of each company. Nowadays, marketing plays an important role in the strategic management of an enterprise. Due to the appearance of a large number of information systems that support the implementation of certain processes in the field of marketing, the accuracy of market and consumer research increases, the adequacy of the information received from the external environment increases, the influence of the human factor on the results of activities decreases and the effectiveness of marketing business processes in General increases. All this has an impact on the concept and strategy of management, on the decision-making of the top management of companies on the further direction of development and transformation of the company. However, due to the large selection of marketing information systems offered on the market, the company risks inefficiently investing its finances in systems that are not able to cover the needs of the enterprise. This article will consider the classification of existing software products for marketing and their ability to automate certain processes of marketing activities.

Keywords: marketing, it marketing, software products, MIS, comparative analysis, marketing planning and control system

Одним из видов управления является маркетинговая деятельность, которая способна увеличить объемы производства и торговли. Это возможно благодаря тому, что основной задачей маркетинга является определение потребительских запросов. Он увязывает возможности производства и реализации товаров и услуг с целью покупки продукции потребителем. Маркетинг определяет эффективное использование производственных мощностей, нового высокопроизводительного оборудования и прогрессивной технологии.

Маркетинг применяется во многих сферах, которые, например, связаны с производством и реализацией товаров или

оказанием услуг. Это объясняет наличие большого количества методов и средств реализации маркетинговых кампаний, которые позволяют адаптировать концепцию под сферу организации, ее масштаб, направленности дальнейших стратегических действий и целевого потребителя.

Для проведения эффективных маркетинговых действий организации необходима достоверная информация, которая поступает на протяжении всего срока маркетингового плана, а именно, на этапах разработки, реализации и пересмотра.

На успешно функционирующих предприятиях маркетинговая информация собирается, анализируется и распреде-

ляется в рамках маркетинговой информационной системы (МИС), являющейся частью информационной системы управления предприятием.

МИС – это единый комплекс, включающий в себя маркетинговый персонал, маркетинг-менеджмент, разработку и применение методов маркетинга, использование маркетинговых инструментов для решения задач маркетинга и задач общего планирования компании.

МИС состоит из частей, подразделов или подсистем, которые называются компонентами. Как правило, согласно Филипу Котлеру, система маркетинговой информации состоит из четырех взаимосвязанных компонентов – системы внутренних отчетов (записей), системы маркетинговых исследований, системы маркетинговой разведки и системы поддержки принятия маркетинговых решений, как показано на рисунке. Все компоненты взаимосвязаны и взаимозависимы [1].

Цель исследования: обзор маркетинговой информационной системы и ее подсистем, а также выполнение классификации программных продуктов в сфере маркетинга и их сравнительный анализ.

Материалы и методы исследования

Понятие маркетинговой информационной системы иллюстрируется на рисунке.

1. Система внутреннего учета является важным и легко доступным источником информации. Она состоит из всех записей маркетинговых операций, доступных в рамках организации и выполняет сбор, анализ, интерпретацию и распространение необходимой информации из записей различных подразделений компании. Основные источники информации для системы внутреннего учета включают в себя различные записи о продажах и закупках, заказах, отчетность

о продажах, уровень запасов, дебиторско-кредиторскую задолженность, маркетинговый персонал, затраты, прошлые исследовательские работы и другие отчетные документы, доступные в организации [2].

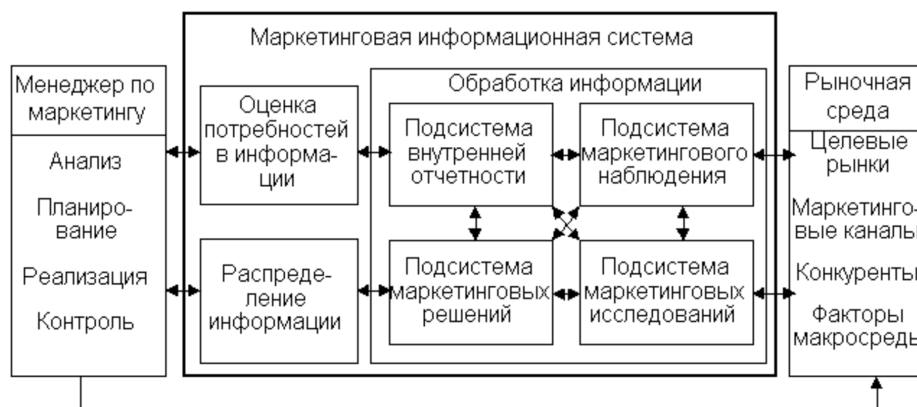
2. В то время как система внутреннего отчета имеет дело с информацией, доступной из внутренних записей организации, система маркетинговой разведки, благодаря совокупности процедур и источников, обеспечивает менеджеров информацией о внешних событиях или внешней среде.

3. Маркетинговые исследования – это мощная и независимая ветвь МИС. В некоторых случаях менеджерам необходима детальная информация по конкретной проблеме конкретного маркетингового направления. Таким образом, это формальное исследование конкретных проблем, возможностей или ситуаций. Как правило, она проводится для решения конкретной задачи [3].

4. Система поддержки маркетинговых решений (MSSS) – ранее этот компонент был известен как аналитическая маркетинговая система. Хотя первые три компонента поставляют данные, система поддержки принятия маркетинговых решений больше касается обработки или анализа имеющихся данных. Она может повысить эффективность и полезность всей системы маркетинговой информации за счет сбора данных и их интерпретации в основу для принятия решений.

Далее рассмотрим информационные системы в области маркетинга. Существует следующая их классификация:

1. Информационные системы учета информации – это системы, главной задачей которых является автоматизация различных сфер деятельности организации в рамках учета информации: бухгалтерской, экономической, зарплатной, кадровой, торговой и др. [4].



Маркетинговая информационная система

2. CRM-системы – прикладное программное обеспечение для организаций, предназначенное для автоматизации стратегий взаимодействия с заказчиками (клиентами), в частности для повышения уровня продаж, оптимизации маркетинга и улучшения обслуживания клиентов путем сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с ними, установления и улучшения бизнес-процессов и последующего анализа результатов.

3. Системы анализа продаж и продуктов – информационная система, которая способна анализировать информацию о товарных и финансовых операциях и выдавать статистический отчет [5].

4. Системы отслеживания внешней маркетинговой среды – данные информационные системы выполняют задачи по сбору информации об организации и ее конкурентах, в частности перечень их продукции и цены на них.

5. Системы проведения маркетинговых исследований – системы, предназначенные для сбора и анализа данных через интернет и исследований интернет-аудитории, а также для наглядного представления результатов исследований и содержимого баз данных.

6. Системы для работы с текстовыми массивами – поисково-аналитические системы для обработки больших текстовых массивов. Обработка заключается в получении по запросу упорядоченного по значимости набора «главных тем» выборки.

7. Информационно-аналитические онлайн-системы – представляют собой поисковые системы, которые имеют свой язык запросов и инструменты анализа.

8. Статистические системы – системы данного типа автоматизируют работы в области статистики и, основываясь на единой базе первичных данных, выполняют сбор, хранение и обработку массивов данных [6].

9. Системы поддержки рекламной деятельности – системы, предназначенные для проведения анализа аудитории на основе исторически данных и определения наиболее эффективного расписания выхода рекламы.

10. Маркетинговые пакеты «полного цикла» – это системы, которые предназначены для накопления маркетинговых данных, автоматизации маркетинговых исследований, стратегического и оперативного планирования маркетинговой программы [7].

Примеры маркетинговых программных продуктов, соответствующих описанным группам, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Маркетинговые программные продукты

№ п/п	Группа систем	Пример систем
1	Учетные системы	– 1С Предприятие – Парус – Microsoft Excel – Microsoft Access
2	CRM-системы	– SalesExpert – MySAP CRM – Монитор 3.0 CRM – Amo-CRM – Битрикс 24
3	Системы анализа продаж и продуктов	– Парус-Аналитика – Галактика BusinessIntelligence
4	Системы мониторинга внешней маркетинговой среды	– «КонСи – Конкурентный бенчмаркинг и конкурентная разведка», «Ценовой мониторинг и сравнение цен»
5	Системы проведения маркетинговых исследований	– UlterSystemsPulsar – UlterSystemsMercury – VORTEX
6	Системы для работы с текстовыми массивами	– ГалактикаZOOM – TextAnalyst
7	Информационно-аналитические онлайн-системы	– «Медиалогия» – «Интеррум» – Public.ru – Park.ru
8	Статистические системы	– SPSS – StatSoftStatistica – Да-Система

Окончание табл. 1		
№ п/п	Группа систем	Пример систем
9	Системы поддержки рекламной деятельности	– Galileo – SuperNova – PaloMARS – iPaloMARS – TV Planet – ScheduleBuilder
10	Маркетинговые пакеты полного цикла	– Marketing Analytic – Marketing Expert

Таблица 2

Сравнительный анализ программных продуктов в сфере маркетинга

№ п/п	Группа программных продуктов	Маркетинговая информационная система				Система маркетингового планирования и контроля	
		Система внутренней отчетности	Отслеживание внешней среды	Маркетинговые исследования	Анализ маркетинговой информации	Стратегическое планирование и контроль	Тактическое планирование и контроль
1	Информационные системы для учета информации	да	нет	нет	нет	нет	нет
2	Системы управления взаимоотношениями с клиентами	да	нет	нет	да	нет	нет
3	Системы анализа продаж	да	нет	нет	да	нет	да
4	Системы отслеживания внешней маркетинговой среды	да	да	нет	да	нет	нет
5	Системы проведения маркетинговых исследований	нет	нет	да	да	нет	нет
6	Системы для работы с текстовыми массивами	нет	да	да	да	нет	нет
7	Онлайн-сервисы для анализа информации	нет	да	да	да	нет	нет
8	Статистические системы	да	да	да	да	нет	нет
9	Системы поддержки рекламной деятельности	нет	да	нет	да	нет	да
10	Маркетинговые пакеты «полного цикла»	да	да	да	да	да	да

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 2 представлены перечисленные группы маркетинговых систем и их возможность выполнять задачи маркетинга.

Заключение

Подводя итоги, можно отметить, что на современном рынке представлено большое количество различных информационных

систем и программных продуктов, способных автоматизировать выполнение многих функций организации, тем самым повысив их эффективность, в том числе в сфере маркетинга. Именно из-за этого возникают проблемы выбора программных продуктов, которые способны покрыть все маркетинговые нужды компании ввиду того, что они имеют различный функционал. Именно для облегчения определения самого оптимального варианта из представленного

рынком перечня систем была выполнена сравнительная характеристика маркетинговых программных продуктов, отражающая возможности системы. На ее основе можно подобрать комбинацию систем или одну определенную систему, которые будут покрывать все нужды бизнеса в сфере маркетинга.

Список литературы

1. Рожков И.В. Маркетинговые информационные системы: современные подходы к определению и использованию // Управленческие науки. 2013. № 3 (8). С. 68–75.
2. Рожков И.В. Информационные системы и технологии в маркетинге. М.: Русайнс, 2014. 196 с.
3. Новикова А.В., Массарова К.Р. Современные подходы к проектированию и использованию информационных систем в маркетинге // Информационные технологии в экономике и управлении: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (Махачкала, 29–30 ноября 2018 г.). Махачкала: Изд-во Дагестанский государственный технический университет, 2018. С. 148–151.
4. Анисимова Н.С., Галина А.В., Лактионова Ю.С. Построение нечеткой модели для принятия решений о стоимости автомобиля // Связь теории и практики научных исследований: материалы Международной научно-практической конференции (Саранск, 3 марта 2016 г.). Уфа: Издательство «ОМЕГА САЙНС», 2016. С. 15–17.
5. Березина Е.А. Исследование эффективности организации маркетинга на предприятии // СМАЛЬТА. 2017. № 6. С. 18–20.
6. Махмутова М.В., Самойлова С.С. Пример стоимостного анализа информационного проекта // Информационные системы и технологии в моделировании и управлении: материалы всероссийской научно-практической конференции (Ялта, 5–7 июля 2017 г.). Симферополь: Изд-во «Ариал», 2017. С. 453–459.
7. Бушуева Л.И. Маркетинговые информационные системы в управлении предприятием // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2006. № 1. С. 108–125.