

ISSN 2618-7558 (pdf-version)  
ISSN 2312-4997 (paper version)

# АВТОМАТИКА И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

2018 N 3(25)

**Главный редактор д.т.н., доцент В.А. Жмудь**, заведующий кафедрой автоматике ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), зам. директора ПАО «Новосибирский институт программных систем» (НИПС), **Новосибирск, Россия**

**Редакционный совет:**

**Вадим Аркадьевич Жмудь**      Главный редактор, Председатель редакционного совета, заведующий кафедрой автоматике ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), зам. директора ПАО «Новосибирский институт программных систем» (НИПС), 630073, просп. К.Маркса, д.20, НГТУ; 360090, просп. Ак. Лаврентьева, д. 6/1, НИПС, **Новосибирск, Россия**

**Галина Александровна Французова**      Заместитель главного редактора, заместитель председателя редакционного совета, профессор кафедры автоматике ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), **Новосибирск, Россия**

**Александр Валерьевич Ляпидевский**      Директор организации-учредителя ПАО «Новосибирский институт программных систем» (ПАО «НИПС»), к.э.н., **Новосибирск, Россия**

**Уранчимэг Тудэвдагвын**      Профессор Института Энергетики, Доктор Технических наук, Член докторского диссертационного совета по информатике и связи Монголии, МГУНиТ Член высшего научного совета МГУНиТ, Член научного совета Института Энергетики, Заслуженный доктор НГТУ, **Германия, Монголия**

**Любомир Ванков Димитров**      Проректор по международным связям Технического университета Софии, доктор, профессор, Заслуженный доктор НГТУ, София (Sofia), **София, Болгария**

**Алексей Владимирович Тайченачев**      Директор ФГБУН Институт лазерной физики СО РАН, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, член президиума ВАК РФ, **Новосибирск, Россия**

**Эрик Хальбах**      Д.т.н., Технологический университет Тампере, Лаборатория автоматике и гидравлики, П.О. А/я 589, 33101 **Тампере, Финляндия**

**Редакционная коллегия:**

**Анатолий Сергеевич Востриков**      Профессор кафедры Автоматике НГТУ, д.т.н., Заслуженный преподаватель РФ, академик МАН ВШ, **Москва, Россия**

**Николай Дмитриевич Поляхов**      Д.т.н., профессор, СПбГЭТУ, член редакционной коллегии журнала «Электричество», член экспертного совета ВАК РФ. **Санкт-Петербург, Россия**

**Евгений Борисович Цой**      Заслуженный работник НГТУ, профессор, д.т.н. Новосибирский государственный технический университет, **Новосибирск, Россия**

- Владимир Иванович Гужов** Профессор кафедры Систем сбора и обработки данных, Новосибирский государственный технический университет, **Новосибирск, Россия**
- Шива С. Махапатра** Профессор кафедры Машиностроения в Национальном Институте Технологии, **Роукела (Rourkela), Индия**
- Губерт Рот** Заведующий кафедрой Автоматизированного управления в университете Зигена, профессор, **Зиген (Siegen), Germany**
- Ю Бо** Директор Института робототехники и Технологии автоматизации, Декан факультета Автоматики, Профессор, Харбинский университет науки и техники, **Харбин (Harbin), Китай**
- Ярослав Носек** Профессор факультета мехатроники, информатики и междисциплинарного образования Технического университета Либерец (ТУЛ) доктор, Заслуженный доктор НГТУ, **Либерец, Чехия**
- Петр Тума** Профессор факультета мехатроники, информатики и междисциплинарного образования Технического университета Либерец (ТУЛ), г. **Либерец**, доктор, **Чехия**
- Терри Шато** Заведующий кафедрой, профессор, Институт Паскаля, Университет Блез Паскаль, **Клермон-Ферран, Франция.**
- Вольфрам Хардт** Заместитель декана по международным делам, директор Университетского компьютерного центра, Профессор вычислительной техники, Хемницкий технологический университет, **Хемниц, Германия**
- Вимал Дж. Савсани** Доцент в высшем колледже электротехники и технологии им. Б.Х. Гарди, **Сурат, Индия**
- Равипуди Венката Рао** Д.т.н. (**Польша**). Профессор, факультет машиностроения, Бывший декан и руководитель Национального института технологии им. Сардара Валлабхбая (Институт национального значения правительства Индии) Иччанат, Сурат-395 007, Гуджарат, **Сурат, Индия.**
- Неьматжон Рахимович Рахимов** Профессор кафедры Разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском, д.т.н., **Уфа, Россия**
- Геннадий Павлович Цапко** Профессор кафедры автоматики и компьютерных систем Томского политехнического университета (ФГАОУ ВПО НИ ТПУ), директор Научно-образовательного центра CALS-технологий, профессор, д.т.н., академик Международной академии информатизации, **Томск, Россия**
- Александр Максимович Малышенко** Профессор Отделения автоматизации и робототехники инженерной школы информационных технологий и робототехники ФГАОУ ВПО НИ ТПУ, д.т.н., академик МАН ВШ и Академии электротехнических наук РФ, **Томск, Россия**

- Вадим Яковлевич Копп** Заведующий кафедрой автоматизированных приборных систем Севастопольского национального технического университета, Заслуженный деятель науки и техники Украины, д.т.н., профессор, **Севастополь, Россия**
- Александр Александрович Воевода** Профессор кафедры Автоматики НГТУ, д.т.н., академик МАН ВШ, **Новосибирск, Россия**
- Евгений Владимирович Рабинович** Профессор кафедры Вычислительной техники НГТУ, д.т.н., профессор, **Новосибирск, Россия**
- Михаил Геннадьевич Гриф** Профессор кафедры Автоматизированных систем управления НГТУ, д.т.н., профессор, **Новосибирск, Россия**
- Борис Дмитриевич Борисов** Заведующий лабораторией Института Лазерной физики СО РАН (ИЛФ СО РАН), д.т.н., **Новосибирск, Россия**
- Сергей Леонидович Миньков** Заведующий кафедрой информационного обеспечения инновационной деятельности Национального исследовательского университета «Томский государственный университет», к.ф.-м.н., ст. н. с., чл.-корр. МАИ, **Томск, Россия**
- Борис Викторович Поллер** Заведующий лабораторией Института Лазерной физики СО РАН (ИЛФ СО РАН), д.т.н., **Новосибирск, Россия**
- Татьяна Владимировна Авдеенко** Профессор кафедры Экономической информатики НГТУ, профессор, д.т.н., **Новосибирск, Россия**
- Баярын Бат-Эрдэнэ** Заместитель директора по научным исследованиям и инновациям Энергетического Института Монгольского государственного университета науки и технологии, к.т.н. асс. профессор. **Улаан-Баатор, Монголия**
- Анатолий Михайлович Корилов** Зав. кафедрой автоматизированных систем управления и радиоэлектроники ТУСУРа, профессор, д.т.н., акад. МАН ВШ, специалист в области системного анализа и ТАУ. **Томск, Россия**
- Виталий Сергеевич Щербаков** Декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника», д.т.н., профессор СибАДИ, **Омск, Россия**
- Алексей Александрович Руппель** И.о. зав. каф. АППиЭ, к.т.н., доцент СибАДИ, **Омск, Россия**
- Сэнгэ Самбуевич Ямпиров** Профессор каф. «Биомедицинская техника» ПАПИ, д.т.н., **Улан-Удэ, Россия**
- Владимир Иванович Гололобов** Руководитель лаборатории ПАО «НИПС», к.т.н., **Новосибирск, Россия**
- Константин Витальевич Змеу** Доцент, к.т.н., Заведующий кафедрой Технологий промышленного производства, Инженерной школы Федерального дальневосточного университета, **Владивосток, Россия**
- Олег Владимирович** Д.т.н., профессор Национального исследовательского

<b>Стукач</b>	Томского политехнического университета, <b>Томск, Россия</b>
<b>Алексей Дмитриевич Припадчев</b>	Д.т.н., профессор, Заведующий кафедрой летательных аппаратов ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Аэрокосмический институт, <b>Оренбург, Россия</b>
<b>Виктор Петрович Мельчинов</b>	К.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой радиотехники и информационных технологий Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, <b>Якутск, Россия</b>
<b>Вячеслав Николаевич Федоров</b>	К.т.н., доцент кафедры радиотехники и информационных технологий Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, <b>Якутск, Россия</b>
<b>Ульяна Анатольевна Михалёва</b>	К.т.н., заведующий кафедрой «Многоканальные телекоммуникационные системы» Технологического института ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, <b>Якутск, Россия</b>
<b>Анастасия Дмитриевна Стоцкая</b>	К.т.н., доцент, зам. зав. кафедрой Систем автоматического управления, Санкт-Петербургский Электротехнический университет (ЭТУ ЛЭТИ), <b>Санкт-Петербург, Россия</b>
<b>Анастасия Георгиевна Русина</b>	профессор кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета, доктор технических наук, доцент, <b>Новосибирск, Россия</b>
<b>Михаил Витальевич Калинин</b>	Контент-менеджер ПАО «НИПС», <b>Новосибирск, Россия</b>



УДК 681.2; 681.3; 681.5; 681.7

Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия»

Название журнала на английском языке: Automatics & Software Enginery (сокращенное название: A&SE).

ISSN 2312-4997 для бумажной версии на русском языке

ISSN 2618-7558 для электронной версии на русском языке

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55079

Дата основания: июнь 2012 г.

**Учредитель журнала:**

Публичное акционерное общество «Новосибирский институт программных систем»

Сайт организации: [www.nips.ru](http://www.nips.ru)

Журнал входит в наукометрическую базу РИНЦ (Российский индекс научного цитирования, договор № 497-08/2014 от 20.08.2014 г.).

**Адрес редакции:**

630090, Россия, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 6/1,

ОАО «НИПС», заместителю директора по науке

e-mail: [oaonips@bk.ru](mailto:oaonips@bk.ru)

web: <http://www.jurnal.nips.ru/>

Подписано в печать 29 сентября 2018 г.

## Оглавление

<b>I. Автоматика. Автоматизированные системы.....</b>	<b>8</b>
<b>Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике.....</b>	<b>9</b>
<i>В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев, В.Г. Трубин, М.В. Трубин .....</i>	<i>9</i>
<b>II. Робототехника. Электроника. Программные средства и системы. ....</b>	<b>23</b>
<b>Image Processing Algorithms for High Voltage Power Line Detection.....</b>	<b>24</b>
<i>Batbayar Battseren, Uranchimeg Tudevtagva, Wolfram Hardt .....</i>	<i>24</i>
<b>Оценка разборчивости произношения слогов: метод и алгоритмы.....</b>	<b>30</b>
<i>Новохрестова Д.И.<sup>1,2</sup>, Костюченко Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Пятков А.В.<sup>2</sup> .....</i>	<i>30</i>
<b>Статистический анализ метрик программного кода .....</b>	<b>37</b>
<i>Е.Л.Романов, Л.А.Коршикова, .....</i>	<i>37</i>
<b>III. Инновационные технологии. Перспективные технологии. Моделирование систем. Численная оптимизация.....</b>	<b>47</b>
<b>The History of the Application of Incomplete Integration for the Control of Laser Systems ...</b>	<b>48</b>
<i>V. Zhmud<sup>1</sup>, L. Dimitrov<sup>2</sup>, J. Nosek<sup>3</sup>.....</i>	<i>48</i>
<b>IV. Измерительные средства и системы. Идентификация. Телемеханика и телеметрия.....</b>	<b>53</b>
<b>Оценивание характеристик шума измерения в модели «Сигнал+шум».....</b>	<b>54</b>
<i>Ю.Е. Воскобойников<sup>1,2</sup>, Д. А. Крысов<sup>2</sup>.....</i>	<i>54</i>
<b>Алгоритм определения частоты регуляризации в МНК идентификации импульсной и частотных характеристик.....</b>	<b>62</b>
<i>Г.П. Чикильдин, И.В. Маевский .....</i>	<i>62</i>
<b>V. Информационные технологии.....</b>	<b>69</b>
<b>Предложения по реализации проекта информационной системы для прогноза кадровых потребностей и управления компетенциями будущих кадров крупного предприятия или корпорации .....</b>	<b>70</b>
<i>А.В. Ляпидевский<sup>1</sup>, В.А. Жмудь<sup>2</sup> .....</i>	<i>70</i>
<b>VI. Инструментарий теории замкнутых динамических систем для физических и технических наук. Дискуссии. К сведению авторов. ....</b>	<b>87</b>
<b>Экспертиза против коррупции .....</b>	<b>88</b>
<i>В.А. Жмудь .....</i>	<i>88</i>
<b>Почему закручены галактики.....</b>	<b>99</b>
<i>В.А. Жмудь .....</i>	<i>99</i>
<b>Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия».....</b>	<b>106</b>
<b>Content .....</b>	<b>111</b>

## **I . Автоматика . Автоматизированные системы .**

### **Содержание раздела:**

- ◇ В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев, В.Г. Трубин, М.В. Трубин. Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 9–22.



# Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике

В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев, В.Г. Трубин, М.В. Трубин

ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

*Аннотация:* В данном материале рассматривается модуль GY-521, на котором установлена микросхема MPU6050, компактно объединяющая в одном корпусе акселерометр, гироскоп и температурный датчик. Рассматриваются силы, измеряемые акселерометром и гироскопом. Приводятся данные первичных измерений без фильтрации и калибровки. Для лучшего понимания проводятся эксперименты, позволяющие рассмотреть измеряемые силы в статике. Обработка данных с модуля производится с помощью отладочной платы STM32F103C8T6.

*Ключевые слова:* Акселерометр, гироскоп, температурный датчик, МЭМС, GY-521, MPU6050, I<sup>2</sup>C, STM32, STM32F103C8T6

## ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни постоянно встречаются акселерометры и гироскопы. Они установлены в смартфонах, часах, автомобилях, в компьютерах и т.д. Но в такую маленькую вещь как телефон нельзя уместить акселерометр или гироскоп, выполненный в привычном механическом виде. Тут на помощь приходят микроэлектромеханические системы (МЭМС). Данные системы обладают такими свойствами как: маленький размер, большой функционал, низкое энергопотребление и небольшая стоимость.

МЭМС можно разделить на два типа:

**датчики** – измерительные устройства, которые переводят те или иные физические величины в электрический сигнал;

**актуаторы** – исполнительные устройства, которые в зависимости от полученного сигнала, выполняют те или иные физические воздействия.

В свою очередь МЭМС датчики можно разделить на датчики с разными чувствительными элементами, и с разными принципами преобразования физической величины в электрический сигнал, которые будут определять внутреннюю структуру системы [1–2].

В данном материале рассматривается распространённый датчик MPU6050. Датчик объединяет в себе акселерометр и гироскоп. Первый – используется для измерения линейных ускорений, а второй – угловых скоростей. Совместное использование акселерометра и гироскопа позволяет определить изменение движения тела в трёхмерном пространстве. В основе принципа действия MPU6050 заложен способ преобразования напряжения с подвижных обкладок конденсатора в сигнал с помощью АЦП. Такой вывод можно сделать, рассмотрев его внутреннюю структуру [3].

## 1. ПРИНЦИП РАБОТЫ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Акселерометр – это устройство, измеряющее проекцию кажущегося ускорения на одну или несколько осей, называемых осями чувствительности. Под термином *кажущееся ускорение* следует понимать ускорение, обусловленное совокупностью всех сил, приложенных к объекту, кроме силы притяжения. Термин в основном применяется в навигационных системах. Если на акселерометр действует лишь сила тяжести, то он будет измерять ускорение свободного падения, т.к. под действием этой силы, чувствительный элемент отклонится от положения равновесия.

Как уже было сказано, существует несколько видов акселерометров, отличающихся чувствительными элементами и принципами преобразования физической величины в электрический сигнал. Для того чтобы лучше понять принцип работы акселерометра, представим его как груз, закреплённый на пружинах. Принцип будет одинаков – происходит смещение чувствительного элемента под действием какой-либо силы. На Рис. 1 представлена структурная схема одноосевого акселерометра, который преобразует изменение положения чувствительного элемента в изменение сопротивления с помощью потенциометра 3.

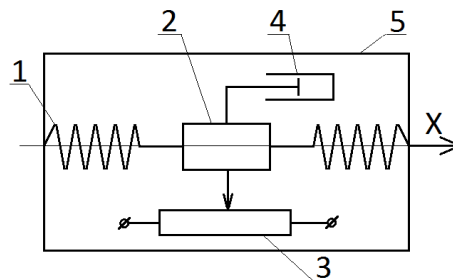
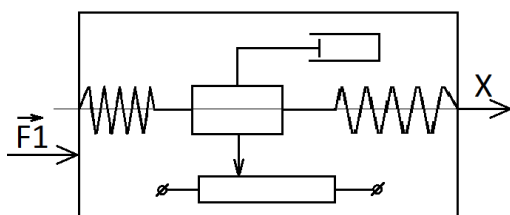


Рис. 1. Внутреннее устройство одноосевого акселерометра. 1 – пружина, 2 – чувствительный элемент, 3 – потенциометр, 4 – демпфер, 5 – корпус

Чувствительный элемент представляет собой массу, закрепленную на пружинах, которые прикреплены к корпусу. Демпфер используется для уменьшения влияния собственных колебаний чувствительного элемента. На вышеприведенном рисунке акселерометр расположен параллельно земной поверхности и к корпусу не приложены никакие силы вдоль оси  $X$ .

Если же корпусу сообщить ускорение, то картина изменится, см. *Рис. 2*. В данном случае при воздействии силы  $F1$  к корпусу, чувствительный элемент смещается влево, в противоположную сторону, приложенной силе  $F1$ . Это смещение регистрирует потенциометр, и на выходе датчика появляется напряжение, пропорциональное приложенной силе.

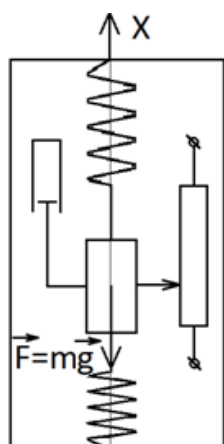


*Рис. 2.* Внутреннее устройство одноосного акселерометра при воздействии силы вдоль его оси

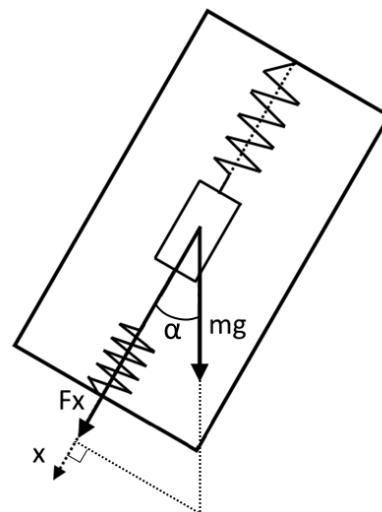
Если же расположить одноосный акселерометр перпендикулярно земной поверхности *Рис. 3*, то есть вдоль вектора силы тяжести, то датчик произведет измерение силы тяжести из-за отклонения чувствительного элемента от положения равновесия.

Теперь можно отойти от примера с грузом и перейти к более удобной форме для расчёта угла наклона акселерометра.

При повороте датчика из положения на *Рис. 3* в положение на *Рис. 1*, когда на ось акселерометра действует сила тяжести, можно измерить угол наклона акселерометра по отношению к этой силе.



*Рис. 3.* Внутреннее устройство одноосного акселерометра при измерении силы тяжести



*Рис. 4.* Проекция сил для расчёта угла наклона по одной оси акселерометра

Измеряемое значение кажущегося ускорения свободного падения будет уменьшаться в соответствии с выражением [4]:

$$F_x = mg \cdot \cos(\alpha); \quad (1)$$

где,  $\alpha$  – угол наклона датчика,  $F_x$  – проекция вектора  $g$  на ось чувствительности  $x$ .

Отсюда выразим угол наклона:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{F_x}{mg}\right); \quad (2)$$

Т.к. масса в данном случае не влияет на результат измерения, примем  $m = 1$ . Допустим, при наклоне датчика было измерено кажущееся ускорение  $F_x = 0,866 g$ . Если подставить это значение в формулу (2), то получим угол наклона в  $30^\circ$ . Используя лишь одну ось, угол наклона можно определять в диапазоне до  $\pm 90^\circ$ . С приближением к значению угла в  $90^\circ$  чувствительность измерения угла наклона будет стремиться к нулю [4]. Используя больше осей, можно будет точнее определять угол наклона и в большем диапазоне.

Если к одноосевому акселерометру добавить второй такой же, но расположить его ось перпендикулярно оси первого, получится двухосевой акселерометр. Так можно расширить угол измеряемого наклона. На *Рис. 5* представлена расчётная схема для угла наклона по двум осям.

По проекциям сил на двух осях ( $x, y$ ) можно восстановить угол по следующему выражению:

$$\frac{F_x}{F_y} = \frac{mg \cdot \cos(\alpha)}{mg \cdot \cos(90 - \alpha)} = \frac{\cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} = \text{ctg}(\alpha); \quad (3)$$

$$\alpha = \text{arccctg}\left(\frac{F_x}{F_y}\right); \quad (4)$$

Воспользуемся расчётным соотношением из формулы (3) и рассчитаем  $F_x, F_y$ . Угол  $\alpha = 30^\circ$ , следовательно,  $F_x = 0,866, F_y = 0,5$ . Подставим полученные значения в формулу (4) и получим

значение в  $30^\circ$ , что соответствует изначальным расчётам.

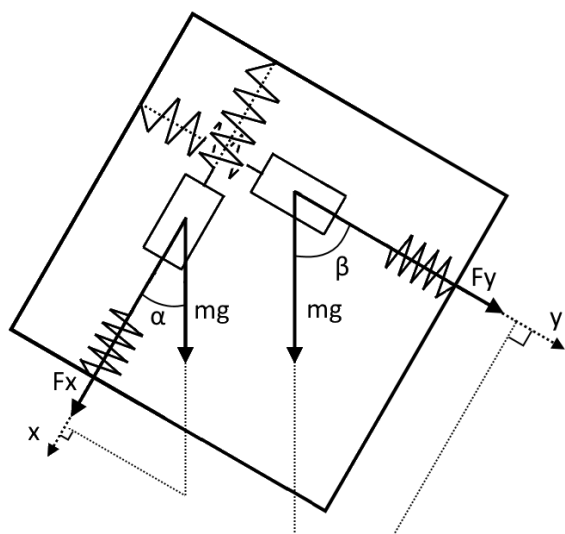


Рис. 5. Проекция сил для расчёта угла наклона по двум осям акселерометра

В действительности же на объект могут действовать дополнительные силы, которые будут вносить существенные искажения в оценку угла наклона [5].

## 2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ГИРОСКОПА

$\beta$  Гироскоп – это устройство, реагирующее на изменение угловой скорости на одной или нескольких осях. Существует несколько разновидностей МЭМС гироскопов, различающихся внутренним устройством, но всех их объединяет то, что их работа основана на использовании силы Кориолиса. В каждом из них есть рабочее тело, совершающее возвратно-поступательные движения. Если вращать подложку, на которой находится это тело, то на него начнет действовать сила Кориолиса, направленная перпендикулярно оси вращения и направлению движения тела. На Рис. 6 представлен механизм работы этой силы. Зная линейную скорость и силу Кориолиса можно определить угловую скорость.

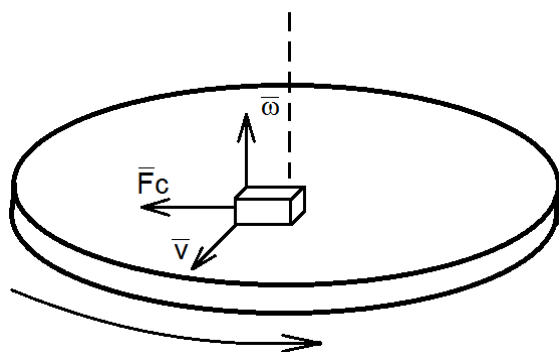


Рис. 6. Механизм работы силы Кориолиса:  $\vec{\omega}$  – вектор угловой скорости,  $\vec{v}$  – вектор линейной скорости,  $\vec{F}_c$  – сила Кориолиса

Одна из возможных реализаций гироскопа имеет следующую структуру: закрепленная на

гибких подвесках рамка, внутри которой совершает поступательные колебательные движения некая масса [2]. Структура такого сенсора представлена на Рис. 7.

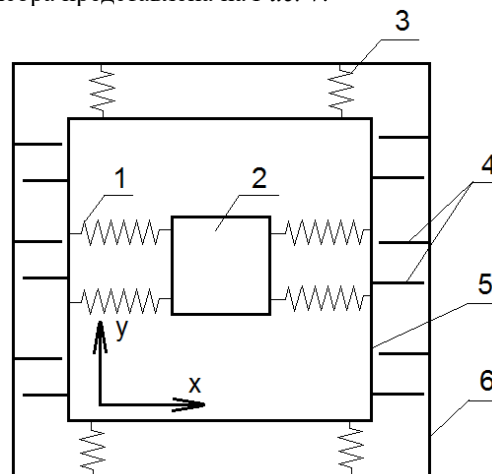


Рис. 7. Внутренняя структура гироскопа: 1 – крепление массы, 2 – рабочая масса, 3 – крепление внутренней рамки, 4 – сенсоры перемещения внутренней рамки, 5 – внутренняя рамка, 6 – подложка

Колебания рабочей массы происходят вдоль оси X и генерируются электростатически, а колебания внутренней рамки возможны только вдоль оси Y. Между внутренней рамкой и подложкой расположены обкладки плоских конденсаторов (сенсоры перемещения), таким образом, измеряя их емкость, можно регистрировать движение рамки относительно подложки.

На Рис. 8 представлена структура гироскопа при его вращении в плоскости XY по часовой стрелке.

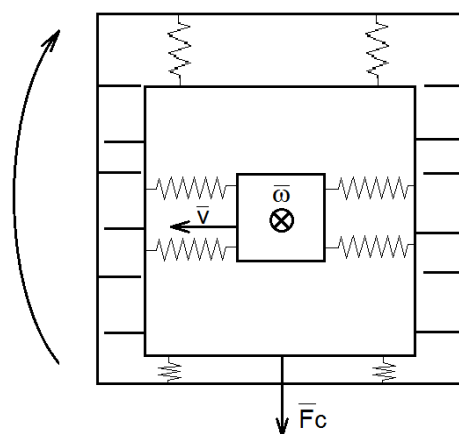


Рис. 8. Структура гироскопа при вращении:  $\vec{\omega}$  – вектор угловой скорости,  $\vec{v}$  – вектор линейной скорости,  $\vec{F}_c$  – сила Кориолиса

Но колебания внутренней рамки могут вызываться не только силой Кориолиса, но и линейными ускорениями, которые действуют вдоль оси Y. Проблема решается путем размещения на одной подложке двух рамок, в каждой из которых находится рабочая масса. Обе массы колеблются в противофазе, следовательно, в конкретный момент времени сила Кориолиса,

воздействующая на первую массу, направлена противоположно силе, действующей на вторую. Сигналы, генерируемые силой *Кориолиса*, будут складываться, а синфазная составляющая, порожденная линейным ускорением, будет вычитаться.

Таким образом, измеряя отклонение внутренней рамки с помощью сенсоров перемещения, можно оценить угловую скорость датчика.

### 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯ GY-521, С МИКРОСХЕМОЙ MPU6050

В модуле *GY-521* установлена микросхема *MPU6050* со всеми необходимыми элементами для её нормальной работы. Внешний вид данного модуля см. на *Рис. 9*.

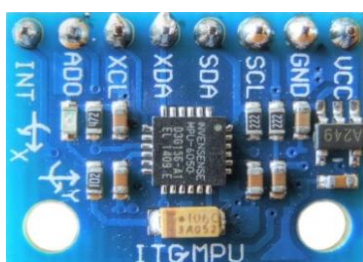


Рис. 9. Модуль GY-521

Ориентацию осей относительно микросхемы *MPU6050* можно посмотреть на *рис. 10*.

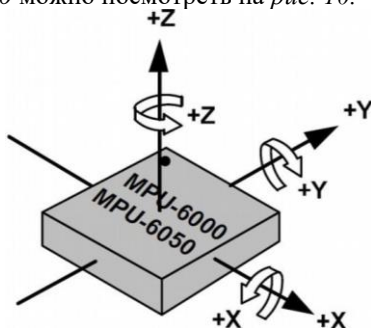


Рис. 10. Ориентация осей MPU6050

На *Рис. 11* приведена схема модуля. Конденсатор *C1*, установлен не на всех модулях. На различных модулях номиналы резисторов и конденсаторов могут отличаться.

Назначение выводов:

- *VCC* – напряжение питания +5 В;
- *GND* – «Земля»;
- *SCL* – линия тактового сигнала  $I^2C$ ;
- *SDA* – линия данных  $I^2C$ ;
- *XDA* – линия данных  $I^2C$  при работе в режиме мастера, для подключения другого датчика;
- *XCL* – линия тактового сигнала  $I^2C$  при работе в режиме мастера, для подключения другого датчика;
- *AD0* – нулевой бит адреса устройства;
- *INT* – выходной сигнал о необходимости обработки данных с *MPU6050*.

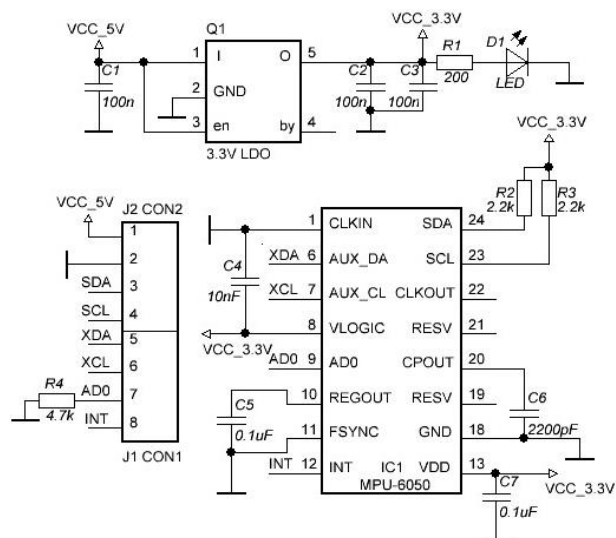


Рис. 11. Схема модуля GY-521

*MPU6050* имеет программируемую систему прерываний, которая может генерировать сигнал прерывания на выходе *INT*. Флаги состояния указывают источник прерывания. Источники прерываний могут быть включены и отключены по отдельности программно [6, с 32].

#### 3.1. Технические характеристики модуля

- Размер платы 20x16 мм;
- 3-х осевой МЭМС гироскоп с 16-битным АЦП;
- 3-х осевой МЭМС акселерометр с 16-битным АЦП;
- Встроенный температурный датчик;
- Цифровой программируемый фильтр нижних частот (ФНЧ);
- Напряжение питания микросхемы 2,375 - 3,46 В. На плате установлен стабилизатор на 3,3 В, поэтому на плату можно подавать напряжение питания 5 В;
- Рабочий диапазон температур от -40 до 85 °С;
- FIFO-буфер объемом 1024 байт;
- Программируемые пользователем цифровые фильтры для гироскопа, акселерометра и температурного датчика;
- Программируемые пользователем источники прерывания;
- Интерфейс  $I^2C$  для записи и чтения регистров устройства, работающий на частоте до 400 кГц, в стандартном режиме до 100 кГц;
- На плате установлены «подтягивающие» резисторы для *SDA* и *SCL* линий;
- Два отверстия под винт диаметром 3 мм.

#### 3.2. Технические характеристики Акселерометра

- Программируемый пользователем диапазон измерений: ±2, ±4, ±8 и ±16 g;
- Встроенный 16-разрядный АЦП;



- Нелинейность 0,5 %;
- Номинальный ток в режиме работы – 0,5 мА;
- Режим пониженного энергопотребления: 10 мкА - 1,25 Гц, 20 мкА – 5 Гц, 70 мкА – 20 Гц, 140 мкА – 40 Гц;
- Акселерометр может выдержать удар до 10 000 g, при условии, что он выключен.

### 3.3. Технические характеристики гироскопа

- Программируемый пользователем диапазон измерений: ±250, ±500, ±1000 и ±2000 %/сек (градусов в секунду);
- Встроенный 16-разрядный АЦП;
- Нелинейность 0,2 %;
- Ток в режиме работы – 3,6 мА;
- Ток в режиме ожидания – 5 мкА.

### 3.4. Технические характеристики температурного датчика

- Диапазон измерений от -40 до +85 °С;
- На градус Цельсия °С отводится 340 отсчётов.

## 4. ОПИСАНИЕ РЕГИСТРОВ MPU6050

Ниже приведена таблица управляющих регистров MPU6050.

Таблица 1

0x1A	Отвечает за настройку внешнего сигнала синхронизации (в GY-521, не используется) и за настройку ФНЧ. На второе отводится три бита, см. [7, с 13].
0x1B	Отвечает за настройку гироскопа. Три бита на каждую ось гироскопа для самотестирования. Два бита для настройки шкалы гироскопа от 250 до 2000 %/сек, см. [7, с 14].
0x1C	Отвечает за настройку акселерометра. Три бита на каждую ось акселерометра для самотестирования. Два бита для настройки шкалы акселерометра от ±2 до ±16 g, см. [7, с 15].
0x23	Отвечает за буфер обмена FIFO. Можно указать какие данные с датчиков будут загружаться в буфер FIFO, см. [7, с 16].
0x37	Настройка вывода INT, см. [7, с 26].
0x38	Отвечает за прерывания INT, см. [7, с 27].
0x3A	Флаги прерывания INT, см. [7, с 28].
0x3B	Старшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси x, см. [7, с 29].
0x3C	Младшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси x, см. [7, с 29].
0x3D	Старшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси y, см. [7, с 29].
0x3E	Младшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси y, см. [7, с 29].
0x3F	Старшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси z, см. [7, с 29].
0x40	Младшие 8 бит измеряемой величины акселерометра по оси z, см. [7, с 29].
0x41	Старшие 8 бит измеряемой величины температурного датчика, см. [7, с 30].
0x42	Младшие 8 бит измеряемой величины температурного датчика, см. [7, с 30].
0x43	Старшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси x, см. [7, с 31].

0x44	Младшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси x, см. [7, с 31].
0x45	Старшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси y, см. [7, с 31].
0x46	Младшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси y, см. [7, с 31].
0x47	Старшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси z, см. [7, с 31].
0x48	Младшие 8 бит измеряемой величины гироскопа по оси z, см. [6, с 31].
0x68	Используется для сброса аналоговых и цифровых сигналов датчиков, см. [7, с 37].
0x6A	Предназначен для включения/отключения буфера FIFO, I <sup>2</sup> C мастер режима и общий сброс регистров датчиков, см. [7, с 38].
0x6B	Отвечает за настройку режима сна, выкл. температурного датчика и настройку тактирования устройства, см. [7, с 40].
0x6C	Настройка частоты пробуждения акселерометра в режиме пониженного энергопотребления и установка отдельных осей в режим ожидания, см. [7, с 42].
0x75	Отвечает за идентификацию устройства, см. [7, с 45].

## 5. ПЕРВОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ МОДУЛЯ GY-521 К STM32

Общение с MPU6050 осуществляется при помощи интерфейса I<sup>2</sup>C. Все необходимые элементы для интерфейса уже установлены на плате GY-521, поэтому можно напрямую подключаться к модулю. Схема подключения приведена на Рис. 12.

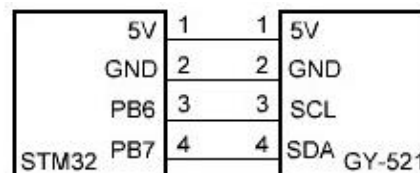


Рис. 12. Схема подключения модуля GY-521 к STM32

Модуль GY-521 подключается к отладочной плате STM32F103C8T6. Управление модулем осуществляется с помощью отправки команд и считывания из регистров необходимых данных. После отправки модулю команды о начале измерений происходит оцифровка показаний со всех осей гироскопа, акселерометра и термодатчика. После этого можно считать результаты измерений из необходимых регистров.

Интерфейс I<sup>2</sup>C имеет архитектуру ведущий – ведомый, то есть одно устройство (ведущее) производит запрос на чтение или запись данных от ведомых устройств. В нашем случае ведомым является MPU6050, а ведущим I<sup>2</sup>C модуль, находящийся на микроконтроллере. Для связи используется две двунаправленные линии: тактирования и данных. Ведомое устройство имеет свой адрес, который на данной линии должен быть уникальным (в нашем случае это 0x40). Линии SDA и SDI должны быть подтянуты к уровню логической единицы. Как правило,

устройства подключаются к линиям *SDA* и *SDL* через выводы с открытым коллектором (стоком). Преимуществом данного интерфейса является возможность подключения большого количества ведомых устройств. Также необходимо учитывать, что при увеличении скорости передачи данных с *MPU6050* уменьшается эффективная дальность передачи данных, **поэтому следует использовать провода как можно меньшей длины.**

Стоит обратить внимание на некоторые особенности, связанные с программной реализацией алгоритма получения данных на микроконтроллере серии *STM32*.

Во-первых, необходимо сбрасывать флаги состояния модуля *I<sup>2</sup>C* – периферии микроконтроллера. Осуществляется это чтением регистра флагов. Если этого не сделать, *I<sup>2</sup>C*-модуль *MPU6050* не сможет перейти к

следующей стадии работы и произойдет зависание программы. Поэтому необходимо тщательно изучить документацию на данный периферийный модуль микроконтроллера, а также документ, содержащий сведения об ошибках в документации (*ERRATA SHEET*).

Вторая особенность связана с завершением сеанса связи при чтении данных из регистров *MPU6050*. Сигналом завершения обмена данных является установка стоп-условия на линии данных. В данном микроконтроллере команду на генерацию стоп-условия необходимо отдать **после прочтения предпоследнего байта**. Если принимается один байт, это необходимо сделать после получения бита подтверждения адреса от ведомого устройства. Если это сделать после прочтения последнего байта, микроконтроллер будет ожидать прием еще одного байта, которого не будет, и программа зависнет.

```
void MPU6050_I2C_init(void) {
    I2C_InitTypeDef I2C_InitStructure;
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_I2C1, ENABLE);
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6 | GPIO_Pin_7;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_10MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_OD;
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

    I2C_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
    I2C_InitStructure.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;
    I2C_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = 0x13; // Собственный адрес
    I2C_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
    I2C_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress = I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
    I2C_InitStructure.I2C_ClockSpeed = 100000; // 100 кГц
    I2C_Cmd(I2C1, ENABLE);
    I2C_Init(I2C1, &I2C_InitStructure);
}

//===== Запись данных Data в регистр Reg по I2C =====
void MPU6050_Write(uint8_t Reg, uint8_t Data) {
    while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_BUSY));
    I2C_GenerateSTART(I2C1, ENABLE);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));
    I2C_Send7bitAddress(I2C1, (0x68 << 1), I2C_Direction_Transmitter);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED));
    I2C_SendData(I2C1, Reg); // Передаём адрес регистра
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));
    I2C_SendData(I2C1, Data); // Передаём данные
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));
    I2C_GenerateSTOP(I2C1, ENABLE);
}

//===== Чтение данных из регистра Reg по I2C =====
uint8_t MPU6050_Read(uint8_t Reg) {
    static uint8_t Data;
    while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_BUSY));
    I2C_GenerateSTART(I2C1, ENABLE);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));
    I2C_Send7bitAddress(I2C1, (0x68 << 1), I2C_Direction_Transmitter);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED));
    I2C_Cmd(I2C1, ENABLE);
    I2C_SendData(I2C1, Reg); // Передаём адрес регистра
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));
    I2C_GenerateSTART(I2C1, ENABLE);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));
    I2C_Send7bitAddress(I2C1, (0x68 << 1), I2C_Direction_Receiver);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_RECEIVER_MODE_SELECTED));
    I2C_AcknowledgeConfig(I2C1, DISABLE);
    I2C_GenerateSTOP(I2C1, ENABLE);
    while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_RECEIVED));
    Data = I2C_ReceiveData(I2C1); // Принимаем данные
}
```



```

        I2C_AcknowledgeConfig(I2C1, ENABLE);
        return Data;
    }
    int main(void) {
        uint16_t X, Y, Z;
        volatile uint32_t i32;
        for(i32 = 0; i32 < 100000; i32++) {}; // Программная задержка
        MPU6050_I2C_init(); // Настраиваем I2C
        for(i32 = 0; i32 < 100000; i32++) {};
        //Датчик тактируется от встроенного 8МГц осциллятора
        MPU6050_Write(0x6B, 0x00); // Register_PWR_M1 = 0, Disable sleep mode

        //Выполнить очистку встроенных регистров датчика
        MPU6050_Write(0x6A, 0x01); // Register_UsCtrl = 1
        for (i32 = 0; i32 < 1000; i32++) {};
        while (1) {
            X = MPU6050_Read(0x3B) << 8; X |= MPU6050_Read(0x3C);
            Y = MPU6050_Read(0x3D) << 8; Y |= MPU6050_Read(0x3E);
            Z = MPU6050_Read(0x3F) << 8; Z |= MPU6050_Read(0x40);
            X = MPU6050_Read(0x43) << 8; X |= MPU6050_Read(0x44);
            Y = MPU6050_Read(0x45) << 8; Y |= MPU6050_Read(0x46);
            Z = MPU6050_Read(0x47) << 8; Z |= MPU6050_Read(0x48);
            // Вывод переменных
        }
    }
}

```

## 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРА И ГИРОСКОПА

Был проведён ряд экспериментов для анализа показаний датчиков в статике. Были установлены единые границы измерения: для гироскопа установлен диапазон  $\pm 250$  °/сек, для акселерометра  $\pm 2$  g. Данные с MPU6050 не корректировались и не фильтровались. На графиках по оси  $x$  указано время измерения, а по оси  $y$  - код с выхода АЦП, в отсчётах.

Стоит отметить, что при многократном использовании недорогих разъёмных соединений, которые приведены на Рис. 15, есть вероятность того, что при проведении экспериментов может пропасть контакт. Поэтому рекомендуется использовать пайку вместо недорогих разъёмных соединений.

## 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТРА В СТАТИКЕ

В данном разделе рассматриваются значения акселерометра в неподвижном состоянии. Перед тем как перейти к экспериментам, теоретически предположим, какие данные удастся получить с датчика в том или ином случае.

Как отмечалось ранее, внутренняя архитектура модуля сложна, поэтому для лучшего понимания логики происходящих процессов, представим акселерометр в более простом виде как показано на рис. 13. Т.к. в MPU6050 установлен 3-х осевой акселерометр, представим его в виде 3 грузиков закрепленных на пружинах, находящихся в 3 перпендикулярных друг другу осях:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Кроме того, конструкция из груза и пружины закреплена таким образом, что груз может двигаться только вдоль своей оси.

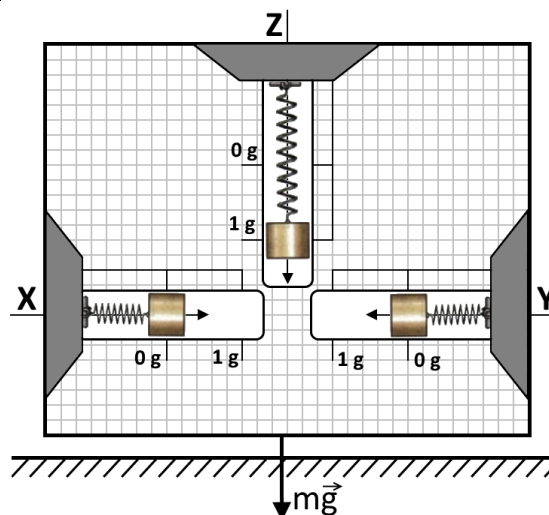


Рис. 13. Теоретическая упрощенная модель 3-х осевого акселерометра

Расположим систему так, чтобы ось  $Z$  была направлена перпендикулярно поверхности земли, а вектора  $X$  и  $Y$  – параллельно земле.

На модуль не действуют никакие другие силы, кроме силы тяжести. Сняв показания с такого теоретического устройства, получим следующее: грузы на осях  $X$  и  $Y$  находятся в «нуле», а груз по оси  $Z$  отклонился до отметки  $1$  g. Напомним, что  $g$  – ускорение свободного падения, которое принято считать равным  $9,8$  м/с<sup>2</sup>. Практически же, на Земле ускорение свободного падения на полюсах немного больше ( $\approx 9,832$  м/с<sup>2</sup>), чем на экваторе ( $\approx 9,780$  м/с<sup>2</sup>), т.к. Земля имеет неидеальную форму шара. К примеру, в городе Новосибирск, Россия  $g = 9,8145$  м/с<sup>2</sup> (данные 2014 г.). Однако, несмотря на различные значения  $g$ , для расчетов используют значение  $9,8$  м/с<sup>2</sup>. Поэтому, если модуль находится в состоянии покоя, значение отклонения груза не может превысить показания в единицах  $g$ . Таким образом, при расположении акселерометра как на Рис. 13 показания по осям будут следующие:  $X - 0\text{-}g$ ,  $Y - 0\text{-}g$ ,  $Z - 1\text{-}g$ .

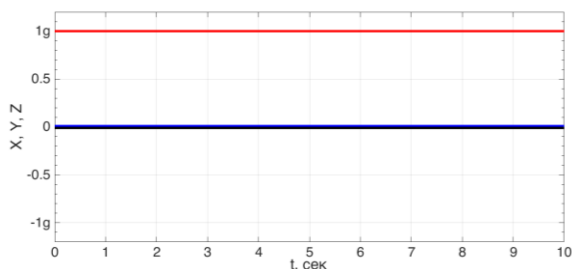


Рис. 14. Значения, акселерометром по 3 осям ожидаемые в теории  $X - 0 \cdot g$ ,  $Y - 0 \cdot g$ ,  $Z - 1 \cdot g$  (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

Перейдем к реальным экспериментам. Расположим датчик на столе и закрепим его как можно ровнее, как показано на Рис. 15. Сила тяжести, как и в теоретическом эксперименте, воздействует только на ось Z, на ось X и Y воздействие сторонних сил сведено к минимуму.

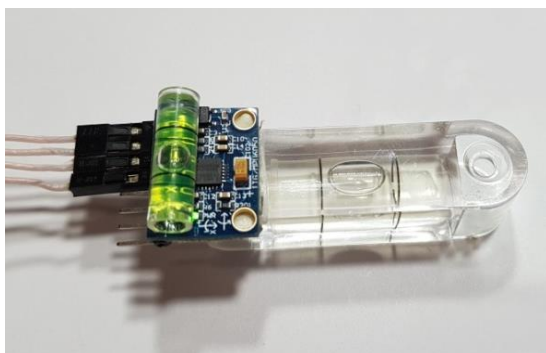


Рис. 15. Модуль выровненный с помощью уровней по двум осям

На основании полученных с акселерометра данных, построим 3 графика.

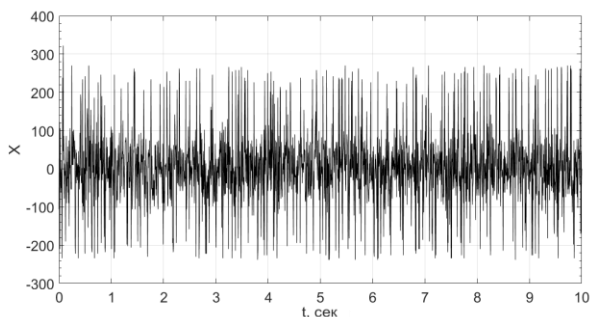


Рис. 16. Значения, измеряемые акселерометром по оси X (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

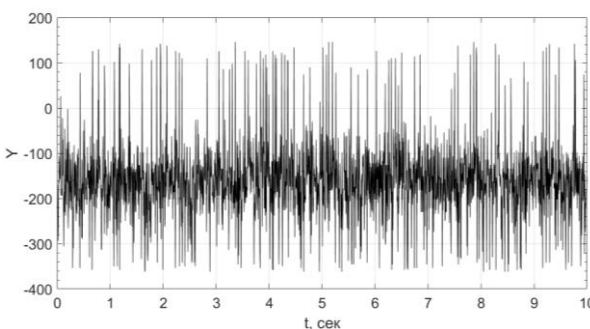


Рис. 17. Значения, измеряемые акселерометром по оси Y (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

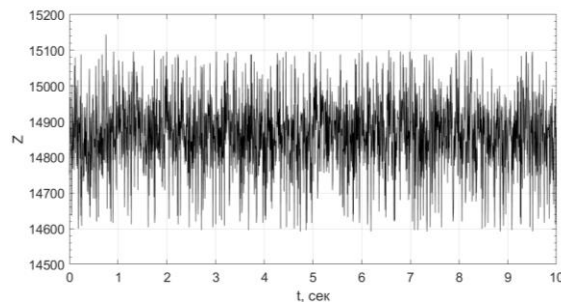


Рис. 18. Значения, измеряемые акселерометром по оси Z (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

При рассмотрении показаний акселерометра по оси X, вместо ожидаемого нуля, можно наблюдать колебания возле нуля с амплитудой около 300 отсчётов. Эти колебания можно назвать «шумом». Этот «шум» возникает внутри модуля. Чтобы понять, какое влияние он может оказать на полезный сигнал, стоит посмотреть на него в диапазоне  $\pm 1 g$ , Рис. 19. Как видно из рисунка, «шум» оказывает несущественное воздействие на полезный информационный сигнал.

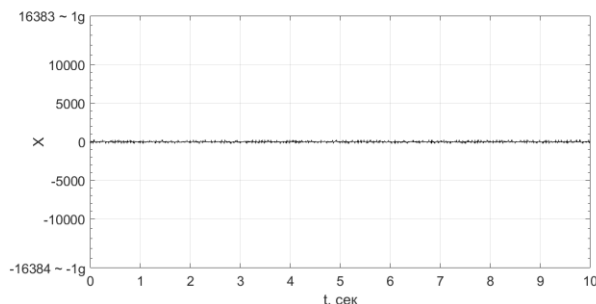


Рис. 19. Значения, измеряемые акселерометром по оси Z (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

Чтобы убедиться в этом возьмём среднее отклонение в  $\pm 250$  отсчётов (Рис. 16) и, учитывая что, 16-разрядный АЦП имеет 65536 уровней квантования, получим:

$$\frac{\pm 250}{65536} \cdot 100\% = \pm 0,38\%$$

При рассмотрении показаний акселерометра по оси Y, имеем тот же «шум», что и по оси X. Кроме того, колебания происходят не около значения 0, а около значения среднего значения -150. Это произошло из-за неточного выравнивания модуля, потому что использовались не высокоточные приборы измерения уровня Рис. 15.

При рассмотрении значений акселерометра по оси Z, имеем тот же «шум», что и на других осях, а значения колеблются на отметке 14850. Проанализируем полученные измерения. Т.к. разрядность АЦП 16 бит, то на положительный и отрицательный диапазон измерений приходится  $2^{16} = 65536$  отсчёта. Тогда, максимальное значение, которое можно получить, будет равно 32768, что соответствует значению в +2 g. Следовательно, +1 g = 16383, что не соответствует полученным результатам, и вместо уровня в +1 g, имеем +0,906 g. Данный результат не соответствует ожиданиям, поэтому стоит проверить, какие данные показывает

акселерометр, если перевернуть модуль на  $180^\circ$ , элементами вниз. На основе полученных данных построим 3 графика.

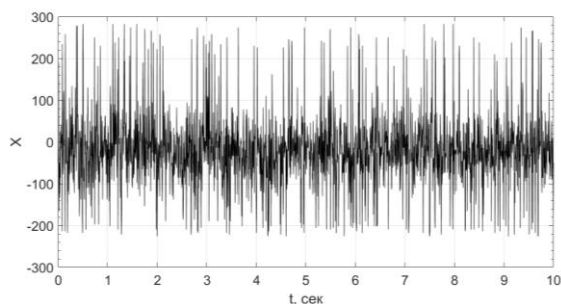


Рис. 20. Значения, измеряемые акселерометром по оси X при развороте модуля стороной с элементами вниз (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

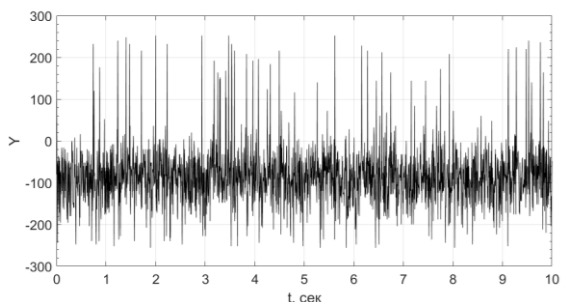


Рис. 21. Значения, измеряемые акселерометром по оси Y при развороте модуля стороной с элементами вниз (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

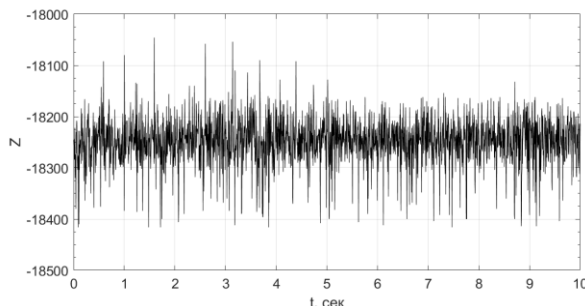


Рис. 22. Значения, измеряемые акселерометром по оси Z при развороте модуля стороной с элементами вниз (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

На полученных графиках также имеется «шум», и небольшое смещение относительно нуля по оси Y. Несмотря на то, что находящиеся на корпусе выпирающие элементы создают трудности ровного закрепления модуля, получилось добиться приемлемых результатов.

При рассмотрении показаний акселерометра по оси Z, можно заметить, что, показания колеблются на отметке -18350, что эквивалентно, -1,12 g. В теории значение больше чем 1g (-16384) не может быть получено, при отсутствии сторонних сил, кроме силы тяжести. Значит, присутствует явление смещения в отрицательную область, т.е. на практике рабочий диапазон возможных значений будет не [-16384 — +16383], а [-18350 — +14850].

Можно предположить, что чувствительный элемент отклоняется по-разному из-за различной жёсткости подвесов (пружин), что сбивает показания. Механически это ни как не исправить,

поэтому подобное стоит учитывать при дальнейшей обработке данных. Пример реализации акселерометра на подвесах приведен на Рис. 23.

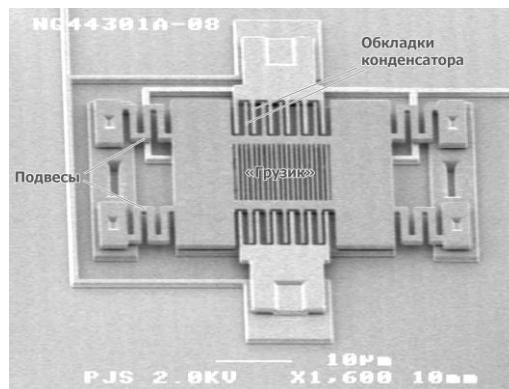


Рис. 23. Пример реализации акселерометра на подвесах

## 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ ГИРОСКОПА В СТАТИКЕ

В данной главе рассматриваются значения гироскопа в неподвижном состоянии. Гироскоп измеряет угловую скорость, поэтому в неподвижном положении, в идеальном случае, показания должны быть равны нулю. На основании полученных данных с гироскопа построим графики.

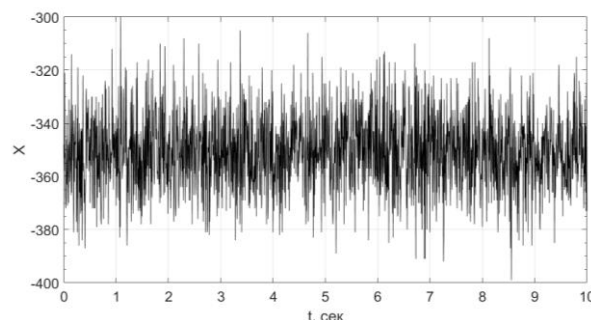


Рис. 24. Значения, измеряемые гироскопом по оси X (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

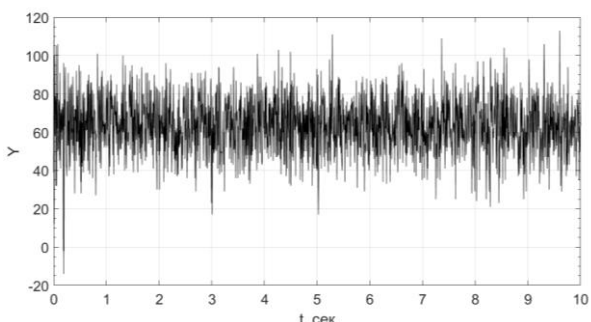


Рис. 25. Значения, измеряемые гироскопом по оси Y (2000 отсчётов, шаг дискретизации 5 мс)

При рассмотрении показаний гироскопа на практике можно увидеть, что усредненное значение отлично от нуля по всем 3 осям. Более подробную информацию по данному вопросу можно найти в [8].

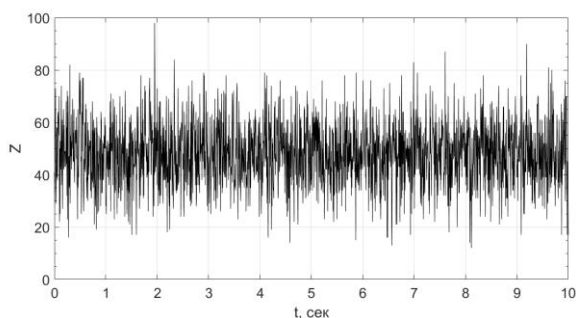


Рис. 26. Значения, измеряемые гироскопом по оси Z (2000 отсчетов, шаг дискретизации 5 мс)

Также можно оценить уровень «шума» на рис. 24–26 относительно максимально допустимых значений:

$$\frac{\pm 20}{65536} \cdot 100\% = \pm 0,05\%$$

Очевидно, «шум» оказывает незначительное воздействие на полезный информационный сигнал.

## ВЫВОДЫ

Модуль GY-521 с микросхемой MPU6050 является простым и доступным датчиком, имеющим в своём составе 3-х осевой акселерометр, 3-х осевой гироскоп и температурный датчик. Акселерометр и гироскоп можно использовать для определения изменения положения в пространстве, угла наклона, как датчик столкновения и т.д. Модуль имеет небольшую стоимость, большой функционал и удобный интерфейс для обмена данными. Подходит для множества инженерных задач, не требующих большой точности.

По результатам проведенных экспериментов, в показаниях акселерометра и гироскопа обнаружена ярко выраженная статическая ошибка.

При исследовании влияния силы тяжести на ось Z было установлено, что существует проблема смещения диапазона возможных значений, причем для каждой оси эти смещения могут быть различны. Это может возникать из-за разной жёсткости подвесов чувствительного элемента. Причем, эта проблема может быть индивидуальной для различных модулей GY-521. Поэтому, желательно проверять наличие ошибки смещения на оси перед началом эксплуатации модуля.

Так как гироскоп предназначен для измерения угловой скорости, т.е. движения, показания в статике не несут полезной информации и их значения должны колебаться на уровне нуля.

Для улучшения показаний датчиков рекомендуется производить начальную калибровку и последующую фильтрацию полученных значений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья продолжает серию публикаций [11–42], посвященных разработке робототехнических устройств и их

программированию. Эти публикации предназначены, прежде всего, молодым научным сотрудникам, практикующимся в этой области на современной электронной элементной базе. Указанный цикл публикаций написан на основе прямых экспериментов, выполняемых с привлечением студентов, что позволило более детально изучить не только достоинства, но и недостатки используемой элементной базы, столкнуться с некоторыми возникающими при настройке трудностями и найти пути их преодоления.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шкурко Д.В. Исследование микромеханического акселерометра на поверхностных акустических волнах. ВКРБ. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2013, <http://refleader.ru/yfsrnaqas.html>
- [2] Шахнович И. МЭМС-гироскопы – единство выбора. Электроника: наука, технология, бизнес. 2007. № 1. С. 76–85. [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_512\\_885.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_512_885.pdf)
- [3] Invensense MPU6050 6-axis MEMS IMU: фото выходного дня URL: <https://zeptobars.com/ru/read/Invensense-MPU6050-6d-MEMS-IMU-gyroscope-accelerometer>
- [4] Fisher C.J. Using an accelerometer for inclination sensing URL: <http://www.analog.com/media/ru/technical-documentation/application-notes/AN-1057.pdf>
- [5] Ивойлов А.Ю. О применении МЭМС-датчиков при разработке системы автоматической стабилизации двухколесного робота. Сборник научных трудов НГТУ. 2017. №3 (89). 32–51.
- [6] Спецификация: MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 InvenSense: URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [7] Документация на регистры MPU6050: MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.2 InvenSense: URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>
- [8] MPU-6050 - Гироскоп + акселерометр Youtube: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EK6TuEPH8G8>
- [9] Документация на микроконтроллеры: STM32F100x4 STM32F100x6 STM32F100x8 STM32F100xB STMicroelectronics: URL: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/dd/87/fd/2a/fb/3f/48/5c/CD00251732.pdf/files/CD00251732.pdf/jcr:content/translations/en.CD00251732.pdf>
- [10] Документация на отладочную плату STM32VLDISCOVERY: UM0919 User Manual STMicroelectronics: URL: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/f3/16/fb/63/d6/3d/45/aa/CD00267113.pdf/files/CD00267113.pdf/jcr:content/translations/en.CD00267113.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/f3/16/fb/63/d6/3d/45/aa/CD00267113.pdf/files/CD00267113.pdf/jcr:content/translations/en.CD00267113.pdf)
- [11] Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics / В. А. Жмудь, Н. О. Кондратьев, К. А. Кузнецов, В. Г. Трубин, Л. В. Димитров // Journal of Physics: Conference Series. - 1015 (2018) 032189 - ISBN 1742-6588. - DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032189.
- [12] Ivoylov A. Y. A balancing robot on a wheel pair: detection of unaccounted nonlinearities. Progress through Innovations: тез. науч.-практ. конф.



- аспирантов и магистрантов, Новосибирск, 31 марта 2016 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. С. 24–25. ISBN 978-5-7782-2869-6.
- [13] Жмудь В. А., Трубин В. Г., Каменская А. С., Курбетьев К. В. Графический OLED дисплей UG-2864ASGGG14: первое включение. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 29–37.
- [14] Жмудь В. А., Трубин В. Г., Ивойлов А. Ю. Рекомендации по быстрой разработке макетов цифровых систем управления на базе микроконтроллеров. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 3 (17). С. 25–31.
- [15] Жмудь В. А., Трубин В. Г., Суменков А. В., Трубин М. В. Светодиодная индикация на основе микросхемы MAX7219. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 2 (16). С. 79–89.
- [16] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013617769 Bluetooth\_HC-05\_Driver-v001. Правообладатель: ФГБОУ ВПО НГТУ. Россия. Авторы: Ескин А.В., Жмудь В.А. Заявка № 2013615378 от 13 февраля 2013 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22 августа 2013 г.
- [17] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013618271 HC-SR04\_Ultrasonic\_Driver-v002. Правообладатель: ФГБОУ ВПО НГТУ. Россия. Авторы: В.А. Жмудь, В.Г. Трубин. Заявка № 2013616195. Дата поступления 18 июля 2013. Дата гос. регистрации в реестре программ для ЭВМ 04 сентября 2013 г.
- [18] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013615343 NXT\_MotorDriver-v003a. Правообладатель: ФГБОУ ВПО НГТУ. Россия. Авторы: В.А. Жмудь, А.В. Ескин. Заявка № 2013616195. Дата поступления 26 апреля 2013. Дата гос. регистрации в реестре программ для ЭВМ 05 июня 2013 г.
- [19] Печников А.Л., Жмудь В.А., Трубин В.Г., А.Б. Колкер. Перспективы развития робототехнических учебных стендов для высшего специального образования в области робототехники, автоматки и мехатроники. Информатика, вычислительная техника и автоматизация. 2012. №2. Т.5. С. 89–95.
- [20] Печников А.Л., Жмудь В.А., Трубин В.Г., А.Б. Колкер. Перспективы развития робототехнических учебных стендов для высшего специального образования в области робототехники, автоматки и мехатроники. Труды конференции Scientific World – Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2012.
- [21] Печников А.Л., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Удаленное управление роботом посредством хмрр-протокола. Сборник научных трудов НГТУ. 2013. № 3(73). С. 85 – 92.
- [22] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Реализация дистанционного управления по радиоканалу Bluetooth платформой, моделирующей работу роботизированных средств. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 1 (3). С. 82–87.
- [23] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Построение платформы моделирующей работу роботизированных средств на базе конструктора Lego Mindstorms NXT 2.0 в части управления электродвигателями. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 1 (3). С. 88–94.
- [24] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Беспроводной удлинитель последовательного порта на базе радиоканала Bluetooth. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 2 (4). С. 42–47.
- [25] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. STM32VLDISCOVERY – средство для быстрой разработки опытных образцов цифровых систем управления. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 3 (5). С. 32–39.
- [26] Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Ескин А.В., Трубин В.Г. Особенности работы с ЖКИ дисплеем NOKIA 5110. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4 (6). С. 8–13. <http://www.nips.ru/images/stories/zhournal-AIPI/7/aipi-4-2013-01.pdf>
- [27] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Плагины Eclipse для ускорения разработки программ цифровых систем управления. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4 (6). С. 24–34. <http://www.nips.ru/images/stories/zhournal-AIPI/7/aipi-4-2013-03.pdf>
- [28] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «EdpCtrlServer\_v004.py» № 2014612791, правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет». Авторы: А.Л. Печников, В.Г. Трубин, В.А. Жмудь. Заявка № 2013660275, дата поступления 11 ноября 2013 г., дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 06 марта 2014 г.
- [29] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «EdpCtrlClient\_v004.py» № 2014612792, правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет». Авторы: А.Л. Печников, В.Г. Трубин, В.А. Жмудь. Заявка № 2013660287, дата поступления 11 ноября 2013 г., дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 06 марта 2014 г.
- [30] Трубин В.Г., Ескин А. В., Печников А.Л., Жмудь В.А. Использование сети интернет для интерактивной лабораторной работы с дистанционным управлением моделью робота снегоборщника. Автоматика и программная инженерия. 2014. 1(7). С. 95–103.
- [31] Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Разработка системы автоматической стабилизации в вертикальном положении двухколесной платформы. Автоматика и программная инженерия. 2014. № 2 (8). С. 15–21.
- [32] Ескин А.В., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Экономичная реализация графического интерфейса пользователя на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi. Автоматика и программная инженерия. 2014. № 2 (8). С. 22–38.
- [33] Кухтинова М.С., Позолотина Н.А., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Системы распознавания речи. Автоматика и программная инженерия. 2014. № 2 (8). С. 46–48.
- [34] Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Использование акселерометра ADXL335 для определения угла отклонения от вертикали. Автоматика и программная инженерия. 2014. № 2 (8). С. 68–72.
- [35] Жмудь В.А., Трубин И.В., Трубин М.В. Обмен данными между компьютером и микроконтроллером STM32F100 по последовательному интерфейсу связи RS-232. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 1 (11). С. 45–51.

- <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-6.pdf>
- [36] Жмудь В.А., Трубин М.В. Регулятор с разделением «правильных» и «неправильных» движений. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 1 (11). С. 57–62. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-8.pdf>
- [37] Жмудь В.А., Трубин И.В., Трубин М.В. Проектирование сенсорных кнопок на базе микросхемы ТТР-224. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 1 (11). С. 70–74. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-10.pdf>
- [38] Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Использование измерительной системы MPU 6050 для определения угловых скоростей и линейных ускорений. ФГБОУ ВПО НГТУ, (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2015. № 1 (11). С. 75–80. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-11.pdf>
- [39] Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 2 (12). С. 16–34.
- [40] Димитров Л. В., Жмудь В. А., Ивойлов А. Ю., Трубин В. Г. Уточнение модели балансирующего робота логико-эмпирическим методом. Научный журнал КубГАУ: электрон. науч. журн. 2016. № 121 (07). <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=121>. - Загл. с экрана. - DOI: 10.21515/1990-4665-121-011.
- [41] Жмудь В. А., Трубин В. Г., Ескин А. В., Печников А. Л. STM32VLDISCOVERY – платформа для построения простой системы сбора данных. Лабораторная работа: учеб.-метод. пособие. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2014. 174 с. ISBN 978-5-7782-2599-2.
- [42] Жмудь В. А., В. Г. Трубин. STM32VLDISCOVERY - платформа для построения простой системы сбора данных. Учебное пособие. Москва: Русайнс, 2018. 272 с. ISBN 978-5-4365-2893-9.



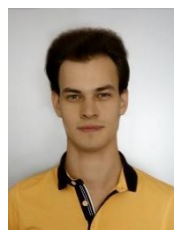
**Вадим Аркадьевич Жмудь** - заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20



**Кирилл Андреевич Кузнецов** - магистрант группы ААМ-17 кафедры Автоматики НГТУ.  
E-mail: [kuznetsov@ngs.ru](mailto:kuznetsov@ngs.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20



**Никита Олегович Кондратьев** - магистрант группы ААМ-17 кафедры Автоматики НГТУ.  
E-mail: [nikitok.08.95@mail.ru](mailto:nikitok.08.95@mail.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20



**Виталий Геннадьевич Трубин** – старший преподаватель кафедры Автоматики НГТУ, директор ООО «КБ Автоматика».  
E-mail: [trubin@ngs.ru](mailto:trubin@ngs.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20



**Максим Витальевич Трубин** – магистрант группы ААМ-18 кафедры Автоматики НГТУ.  
E-mail: [morkai@bk.ru](mailto:morkai@bk.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20

Статья получена 2 августа 2018 г.

## Accelerometer and Gyroscope MPU6050; the First Inclusion on STM32 and the Study of its Indications in Statics

V.A. Zhmud, K.A. Kuznetsov, N.O. Kondratyev, V.G. Trubin, M.V. Trubin  
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*Abstract:* In this article microchip MPU6050 with accelerometer, gyroscope and thermometer installed at the module GY-521 is studied. The forces measured by accelerometer and gyroscope are considered. Primary measurements are provided without filtration and calibration. In order to a better understand of module's work this article considers experiments which allow examining measured forces in statics. Data processing is made using debug card STM32VLDISCOVERY.

*Key words:* Accelerometer, gyroscope, thermometer, MEMS, GY-521, MPU6050, I<sup>2</sup>C, STM32, STM32F103C8T6

### REFERENCES

- [1] Shkurko D.V. Issledovaniye mikromekhanicheskogo akselerometra na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh. VKRB. SPbGETU «LETI». SPb., 2013, <http://refleader.ru/yfsrnaqas.html>
- [2] Shakhnovich I. MEMS-giroskopy – yedinstvo vybora. Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes. 2007. № 1. S. 76–85. [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_512\\_885.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_512_885.pdf)
- [3] Invensense MPU6050 6-axis MEMS IMU: foto vykhodnogo dnya URL:



- <https://zeptobars.com/ru/read/Invensense-MPU6050-6d-MEMS-IMU-gyroscope-accelerometer>
- [4] Fisher C.J. Using an accelerometer for inclination sensing URL: <http://www.analog.com/media/ru/technical-documentation/application-notes/AN-1057.pdf>
- [5] Ivoylov A.YU. O primeneniі MEMS-datchikov pri razrabotke sistemy avtomaticheskoy stabilizatsii dvukhkolesnogo robota. Sbornik nauchnykh trudov NGTU. 2017. №3 (89). 32–51.
- [6] Spetsifikatsiya: MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 InvenSense: URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [7] Dokumentatsiya na registry MPU6050: MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.2 InvenSense: URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>
- [8] MPU-6050 - Giroskop + akselerometr Youtube: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EK6TuEPhBG8>
- [9] Dokumentatsiya na mikrokontrollery: STM32F100x4 STM32F100x6 STM32F100x8 STM32F100xB STMicroelectronics: URL: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/dd/87/fd/2a/fb/3f/48/5c/CD00251732.pdf/files/CD00251732.pdf/jcr:content/translations/en.CD00251732.pdf>
- [10] Dokumentatsiya na otladochnuyu platu STM32VLDISCOVERY: UM0919 User Manual STMicroelectronics: URL: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/f3/16/fb/63/d6/3d/45/aa/CD00267113.pdf/files/CD00267113.pdf/jcr:content/translations/en.CD00267113.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/f3/16/fb/63/d6/3d/45/aa/CD00267113.pdf/files/CD00267113.pdf/jcr:content/translations/en.CD00267113.pdf)
- [11] Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics / V. A. Zhmud, N. O. Kondrat'yev, K. A. Kuznetsov, V. G. Trubin, L. V. Dimitrov // Journal of Physics: Conference Series. - 1015 (2018) 032189 - ISBN 1742-6588. - DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032189.
- [12] Ivoylov A. Y. A balancing robot on a wheel pair: detection of unaccounted nonlinearities. Progress through Innovations: tez. nauch.-prakt. konf. aspirantov i magistrantov, Novosibirsk, 31 marta 2016 g. Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2016. S. 24–25. ISBN 978-5-7782-2869-6.
- [13] Zhmud V. A., Trubin V. G., Kamenskaya A. S., Kurbet'yev K. V. Graficheskij OLED display UG-2864ASGGG14: pervoye vklyucheniye. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. № 1 (15). S. 29–37.
- [14] Zhmud V. A., Trubin V. G., Ivoylov A. YU. Rekomendatsii po bystroy razrabotke maketov tsifrovyykh sistem upravleniya na baze mikrokontrollerov. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. № 3 (17). S. 25–31.
- [15] Zhmud V. A., Trubin V. G., Sumenkov A. V., Trubin M. V. Svetodiodnaya indikatsiya na osnove mikroskhemy MAX7219. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. № 2 (16). S. 79–89.
- [16] Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2013617769 Bluetooth\_HC-05\_Driver-v001. Pravoobladatel': FGBOU VPO NGTU. Rossiya. Avtory: Yeskin A.V., Zhmud V.A. Zayavka № 2013615378 ot 13 fevralya 2013 g. Zaregistrovano v Reyestre programm dlya EVM 22 avgusta 2013 g.
- [17] Svidetel'stvo na registratsiyu programmy dlya EVM № 2013618271 HC-SR04\_Ultrasonic\_Driver-v002. Pravoobladatel': FGBOU VPO NGTU. Rossiya. Avtory: V.A. Zhmud, V.G. Trubin. Zayavka № 2013616195. Data postupleniya 18 iyulya 2013. Data gos. registratsii v reyestre programm dlya EVM 04 sentyabrya 2013 g.
- [18] Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2013615343 NXT\_MotorDriver-v003a. Pravoobladatel': FGBOU VPO NGTU. Rossiya. Avtory: V.A. Zhmud, A.V. Yeskin. Zayavka № 2013616195. Data postupleniya 26 aprelya 2013. Data gos. registratsii v reyestre programm dlya EVM 05 iyunya 2013 g.
- [19] Pechnikov A.L., Zhmud V.A., Trubin V.G., A.B. Kolker. Perspektivy razvitiya robototekhnicheskikh uchebnykh stendov dlya vysshego spetsial'nogo obrazovaniya v oblasti robototekhniki, avtomatiki i mekhatroniki. Informatika, vychislitel'naya tekhnika i avtomatizatsiya. 2012. №2. T.5. S. 89–95.
- [20] Pechnikov A.L., Zhmud V.A., Trubin V.G., A.B. Kolker. Perspektivy razvitiya robototekhnicheskikh uchebnykh stendov dlya vysshego spetsial'nogo obrazovaniya v oblasti robototekhniki, avtomatiki i mekhatroniki. Trudy konferentsii Scientific World - Perspektivnyye innovatsii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte '2012.
- [21] Pechnikov A.L., Zhmud V.A., Trubin V.G. Udalennoye upravleniye robotom posredstvom xmpp-protokola. Sbornik nauchnykh trudov NGTU. 2013. № 3(73). S. 85 – 92.
- [22] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. Realizatsiya distantsionnogo upravleniya po radiokanaluu Bluetooth platformy, modeliruyushchey rabotu robotizirovannykh sredstv. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 1 (3). S. 82–87.
- [23] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. Postroyeniye platformy modeliruyushchey rabotu robotizirovannykh sredstv na baze konstruktora Lego Mindstorms NXT 2.0 v chasti upravleniya elektrodvigatelyami. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 1 (3). S. 88–94.
- [24] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. Besprovodnoy udlinitel' posledovatel'nogo porta na baze radiokanala Bluetooth. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 2 (4). S. 42–47.
- [25] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. STM32VLDISCOVERY – sredstvo dlya bystroy razrabotki opytnykh obraztsov tsifrovyykh sistem upravleniya. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 3 (5). S. 32–39.
- [26] Ivoylov A.YU., Zhmud V.A., Yeskin A.V., Trubin V.G. Osobennosti raboty s ZHKI displeyem NOKIA 5110. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 4 (6). S. 8–13. <http://www.nips.ru/images/stories/zjournal-AIPI/7/ai-pi-4-2013-01.pdf>
- [27] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. Plaginy Eclipse dlya uskoreniya razrabotki programm tsifrovyykh sistem upravleniya. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 4 (6). S. 24–34. <http://www.nips.ru/images/stories/zjournal-AIPI/7/ai-pi-4-2013-03.pdf>
- [28] Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «EdpCtrlServer\_v004.ru» № 2014612791, pravoobladatel': Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya «Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet». Avtory: A.L. Pechnikov, V.G. Trubin, V.A. Zhmud. Zayavka № 2013660275, data postupleniya 11 noyabrya 2013 g., data gosudarstvennoy registratsii v Reyestre programm dlya EVM 06 marta 2014 g.
- [29] Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «EdpCtrlClient\_v004.ru» № 2014612792, pravoobladatel': Federal'noye

- gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshogo professional'nogo obrazovaniya «Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet». Avtory: A.L. Pechnikov, V.G. Trubin, V.A. Zhmud. Zayavka № 2013660287, data postupleniya 11 noyabrya 2013 g., data gosudarstvennoy registratsii v Reyestre programm dlya EVM 06 marta 2014 g.
- [30] Trubin V.G., Yeskin A. V., Pechnikov A.L., Zhmud V.A. Ispol'zovaniye seti internet dlya interaktivnoy laboratornoy raboty s distantsionnym upravleniyem model'yu robota snegouborshchika. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. 1(7). S. 95–103.
- [31] Ivoylov A.YU., Zhmud V.A., Trubin V.G. Razrabotka sistemy avtomaticheskoy stabilizatsii v vertikal'nom polozhenii dvukhkolesnoy platformy. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. № 2 (8). S. 15–21.
- [32] Yeskin A.V., Zhmud V.A., Trubin V.G. Ekonomichnaya realizatsiya graficheskogo interfeysa pol'zovatelya na baze odnoplannogo komp'yutera Raspberry Pi. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. № 2 (8). S. 22–38.
- [33] Kukhtinova M.S., Pozolotina N.A., Zhmud V.A., Trubin V.G. Sistemy raspoznavaniya rechi. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. № 2 (8). S. 46–48.
- [34] Fedorov D.S., Ivoylov A.YU., Zhmud V.A., Trubin V.G. Ispol'zovaniye akselerometra ADXL335 dlya opredeleniya ugla otkloneniya ot vertikali. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. № 2 (8). S. 68–72.
- [35] Zhmud V.A., Trubin I.V., Trubin M.V. Obmen dannymi mezhdru komp'yuterom i mikrokontrollerom STM32F100 po posledovatel'nomu interfeysu svyazi RS-232. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 1 (11). S. 45–51. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-6.pdf>
- [36] Zhmud V.A., Trubin M.V. Regulyator s razdeleniyem «pravil'nykh» i «nepravil'nykh» dvizheniy. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 1 (11). S. 57–62. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-8.pdf>
- [37] Zhmud V.A., Trubin I.V., Trubin M.V. Proyektirovaniye sensornykh knopok na baze mikroskhemy TTP-224. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 1 (11). S. 70–74. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-10.pdf>
- [38] Fedorov D.S., Ivoylov A.YU., Zhmud V.A., Trubin V.G. Ispol'zovaniye izmeritel'noy sistemy MPU 6050 dlya opredeleniya uglovykh skorostey i lineynykh uskoreniy. FGBOU VPO NGTU, (Novosibirsk, Rossiya). Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 1 (11). S. 75–80. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-1-2015-11.pdf>
- [39] Fedorov D.S., Ivoylov A.YU., Zhmud V.A., Trubin V.G. Razrabotka sistemy stabilizatsii ugla otkloneniya balansiruyushchego robota. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 2 (12). S. 16–34.
- [40] Dimitrov L. V., Zhmud V. A., Ivoylov A. YU., Trubin V. G. Utochneniye modeli balansiruyushchego robota logiko-empiricheskim metodom. Nauchnyy zhurnal KubGAU: elektron. nauch. zhurn. 2016. № 121 (07). <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=121>. - Zagl. s ekrana. - DOI: 10.21515/1990-4665-121-011.
- [41] Zhmud V. A., Trubin V. G., Yeskin A. V., Pechnikov A. L. STM32VLDISCOVERY – platforma dlya postroyeniya prostoy sistemy sbora dannykh. Laboratornaya rabota: ucheb.-metod. posobiye. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU, 2014. 174 s. ISBN 978-5-7782-2599-2.
- [42] Zhmud V. A., V. G. Trubin. STM32VLDISCOVERY – platforma dlya postroyeniya prostoy sistemy sbora dannykh. Uchebnoye posobiye. Moskva: Rusayns, 2018. 272 s. ISBN 978-5-4365-2893-9.



**Vadim Arkadievich Zhmud** – Head of the Department of Automation in NSTU, Professor, Doctor of Technical Sciences.

E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

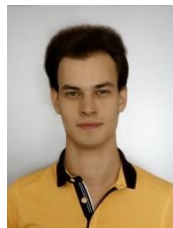
630073, Novosibirsk, str. Prosp. K. Marksa, h. 20



**Kirill Andreevich Kuznetsov** – master student of the AAM-17 group of Automatics Department of the NSTU.

E-mail: [kuznetsov@ngs.ru](mailto:kuznetsov@ngs.ru)

630073, Novosibirsk, str. Prosp. K. Marksa, h. 20



**Nikita Olegovich Kondratiev** – master student of the AAM-17 group of Automatics Department of the NSTU.

E-mail: [nikitok.08.95@mail.ru](mailto:nikitok.08.95@mail.ru)

630073, Novosibirsk, str. Prosp. K. Marksa, h. 20



**Vitaly Gennadievich Trubin** – head of the department. lab. Automatics Department of NSTU, Director of KB Automatics.

E-mail: [trubin@ngs.ru](mailto:trubin@ngs.ru)



**Maxim Vitalievich Trubin** – master student of the AAM-18 group of Automatics Department of the NSTU.

E-mail: [morkai@bk.ru](mailto:morkai@bk.ru)

630073, Novosibirsk, str. Prosp. K. Marksa, h. 20

Paper was received 02.08.2018.

## II. Робототехника. Электроника. Программные средства и системы.

### Содержание раздела:

- ◇ Batbayar Battseren, Uranchimeg Tudevdagva, Wolfram Hardt. Image Processing Algorithms for High Voltage Power Line Detection. Department of Computer Science, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 24–29.
- ◇ Новохрестова Д.И., Костюченко Е.Ю., Пятков А.В. Оценка разборчивости произношения слогов: метод и алгоритмы. Кафедра комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС), Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Лаборатория медико-биологических исследований (ЛМБИ), ТУСУР. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 30–34.
- ◇ Е.Л.Романов, Л.А.Коршикова. Статистический анализ метрик программного кода. ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Россия. 630090, просп. К. Маркса, д. 20. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 37–46.

# Image Processing Algorithms for High Voltage Power Line Detection

*Batbayar Battseren, Uranchimeg Tudevdagva, Wolfram Hardt*

*Department of Computer Science, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany*

*Abstract*—this paper describes an image processing for detection of high voltage power lines. Different algorithms were applied for detection of lines from images which made by unmanned aerial vehicle-based inspection. The purpose of detection is to find out the heading direction, while the unmanned aerial vehicle position and camera view angle not defined. The proposed method started with edge detection and followed by a line detection algorithm to obtain the lines in the frame. Then find all possible intersection points, which located inside and outside of the original image. Based on these intersection points, the power lines are refined. In this paper, we used real images from inspection flight of high voltage transmission lines in Mongolia.

*Keywords*— *power-line inspection, aerial inspection, image processing, line detection, intersection point, unmanned aerial vehicle*

## INTRODUCTION

Electricity is one of the key element of infrastructure in any countries. On demands of high technology development in many fields of human life increase role of sustainable electricity in countries. Production and distribution of electricity consists of three major parts, which are the generation, transmission and distribution. *High voltage transmission line* (HVTL) is a structure that used for transmitting the electric energy along a long distance. According to the importance of HVTL reliability, the inspection and maintenance procedures are one of the crucial work in the power sector.

In recent years, HVTL inspection process greatly altered due to the benefit of the *unmanned aerial vehicle* (UAV) development and capabilities. Now, the vertical take-off UAVs are able to carry a wide variety of camera setups and fly more than 15 minutes [1]. Technicians are using this kind of technologies in all sorts of aerial inspection use cases such as a substation, wind turbine, chimney, bridge, construction heat-loss inspection and more. UAV based power line inspection has numbers of benefits. For instance, it significantly decreased the risk, cost, time consumption of conventional power line inspection, and provided possibilities to carry out the inspection without shutting it down.

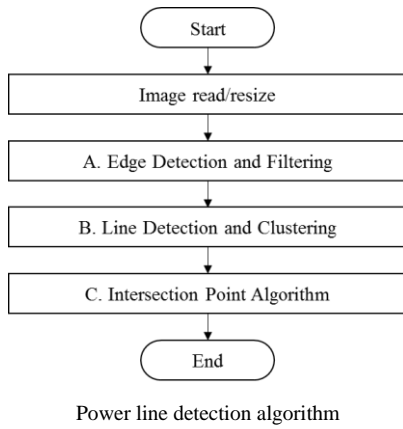
Due to the rapid development of the artificial intelligence, embedded system, and robotic technology, there are numerous researches have been done on UAV based automated power line inspection system. For instance, power line tracking or damaged detection methods [2], [3], [4]. One challenging task of this automated system is a computer-vision based object detection or visual navigation since the ordinary positioning sensors are not working sufficient near to strong electromagnetic field, and lack of long-range environment sensing solution.

According to the overhead power line feature, most algorithms for the power line detection based on analytic methods. These methods are mainly start with the edge detection and followed by line detection. In the work of Alexander and Ivan [5], a circle-based approach defined, where authors are used a Steerable filter for the edge detection and followed by line detection. Likewise, in the work of Yuee Liu [6], author started with the Steerable filter for edge detection and followed by ridge point detector and Hough line detectors. Also in this work, researchers compared their result with *edge drawing algorithm* (EDLines) and *line segment detector* (LSD). In the research of Koshelev V.I [7], authors recommended to use a priori knowledge of power line position, *canny edge detection*, and morphological filters.

## 1. PROPOSED METHOD

In this paper, we present an intersection-point based HVTL detection and localization image-processing algorithm [8]. The proposed image-processing algorithm presented in (Fig. 1). There are three main steps in our concept.

- The first step is an *edge detection* and *filtering*, which detects power line edges.
- The second step is a *line detection* and *clustering*, which obtains the candidate lines in the image.
- The last step is an *intersection point algorithm*, which uses the intersecting points of the detected lines to estimate the heading direction of the power line.



Same as most of the power line detection methods, here we start with edge detection and followed by line detection. In line detection, we faced with two main problems.

1. First, due to the environmental complexity, not all linear-edges are the power line. Therefore, we intended to eliminate the border edges of the solid object at the beginning.
2. Then the second problem is the double or parallel edges of the single line, which caused by image resolution or width of the line and causes multiple candidate line detection for a single line. Our proposed solution for this issue is to group the lines with clustering technic.
3. The last step is to verify the power line and find heading direction. According to the position and view angle of the camera, the power line orientation and the angular difference could vary a lot. To solve this problem, we used the intersection points of these lines to find out the heading direction. All main steps explained in detail in the following subsections.

### Edge Detection and Filtering

Fig. 2 shows the proposed algorithm of edge detection in steps. This method used to highlight a thin line and overcome the solid-object linear edge problem.

First, the source image filtered to remove noise and the power lines. In this step, the Median filtering technique is used (1), which preserves edges while removing the salt-and-pepper noises effectively [9]. Due to the narrow width of the power line, the Median filter considers the power line as a noise. Formula (1) used for Median filter calculation.

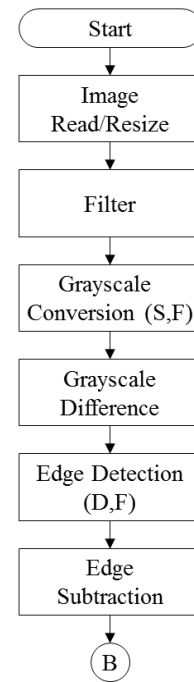
$$\hat{f}(x, y) = \text{median}\{g(s, t)\} \quad (1)$$

where:  $(s, t) \in S_{xy}$

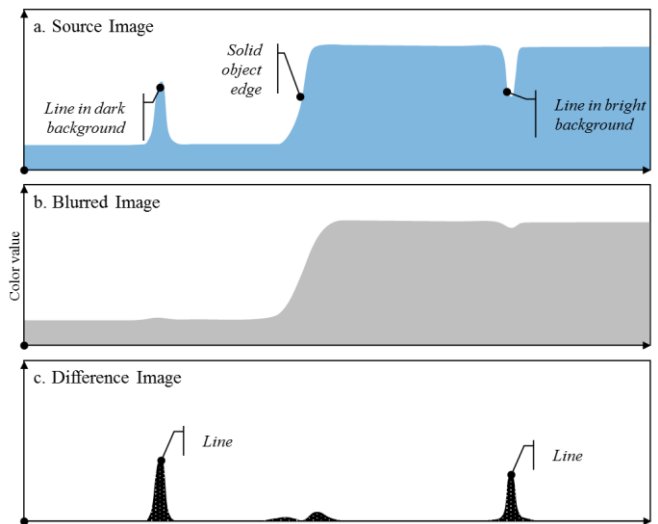
According to the environment (background) variation, the color based feather detection is not possible. Therefore, both source and filtered images were converted into the grayscale images (Fig. 2. Step: Grayscale  $S, F$ ) by RGB to Grayscale conversion function (2) [10]. After this, in other to highlight the thin lines, we found the absolute difference (Fig. 2. Step: Grayscale Difference) of these two images with formula (3), and amplified. This step highlights the all power lines in the bright and dark background (Fig. 3).

$$Y \leftarrow 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (2)$$

$$\Delta Y = |Y_1 - Y_2| \quad (3)$$



Edge detection and filtering algorithm



Power line highlight

Then, the *canny edge detection* (CED) technic applied on the difference image and filtered image (Fig. 2. Step: Edge Detection  $(D, F)$ ), which consists of several sequential steps [11]. First, it will apply the vertical and horizontal convolution masks (4), and then find the gradient strength (5) and orientations (6). The non-maximum suppression applied to end the edge detection by removing non-edge pixels.



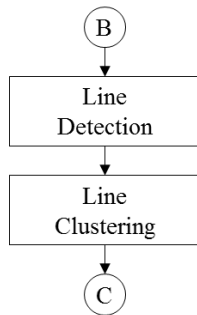
$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (6)$$

Lastly, in order to remove the solid object edge (power pole, insulators, building, road and more), the filtered image edge pixels are dilated and subtracted from the edge pixels of the difference image (Fig. 2. Step: Edge Subtraction).

**Line Detection and Clustering**



Line detection and clustering algorithm

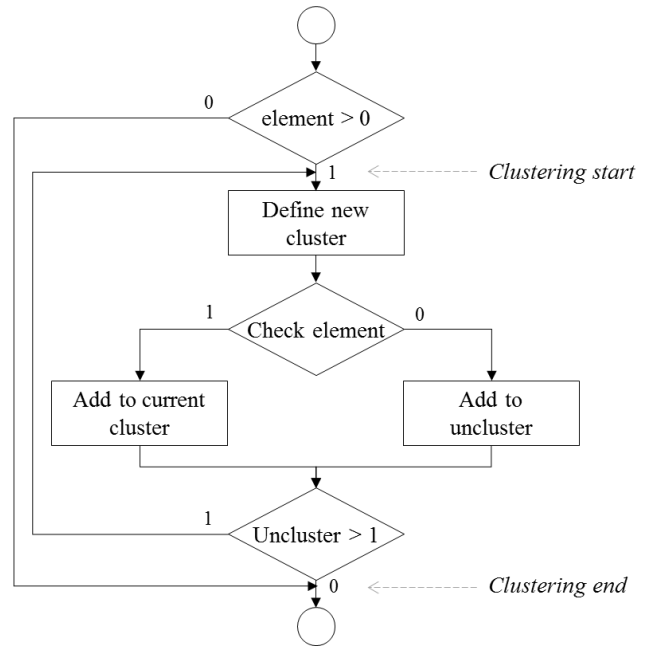
Hough transform (HT) used for line detection (Fig. 4. Step: Line detection) in our approach [12]. HT commonly used in image processing to detect straight lines, circles or ellipses while requiring less computational resource. We consider that previous step (Edge Detection and Filtering) eliminated the solid objects edge pixels to reduce the false negative detection rate.

HT uses 2-dimensional (for  $r$  and  $\theta$  parameters) array to detect lines described by formula (7). Each edge pixel represented as curve (sinusoid) in the Hough space, the lines can be detected by finding the number of intersections of the curves. HT returns  $r$  and  $\theta$  values for each line in Hesse normal form (7).

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (7)$$

However, one drawback of the HT is the result contains multiple candidate lines for each line due to the double edge or noise edge pixels. With the intention of filtering unnecessary lines, we used a clustering technique based on the position ( $r$ ) and angular ( $\theta$ ) parameters of the candidate lines (Fig. 5).

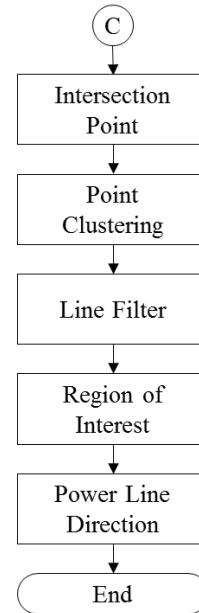
The first element (line) will be the first cluster. If  $r$  and  $\theta$  parameters of one line are both under a specific range, that line is grouped in the current cluster. If not, that line will be group as unclustered elements. It will be executed on every line. If there is any unclustered element left, new cluster will be defined and it will loop again. The total number of the cluster is undefined.



Line and angle clustering algorithm

**A. Intersection Point Algorithm**

In this part, the power line orientation will be calculate based on the intersecting points as shown in Fig. 6.



Intersection point algorithm

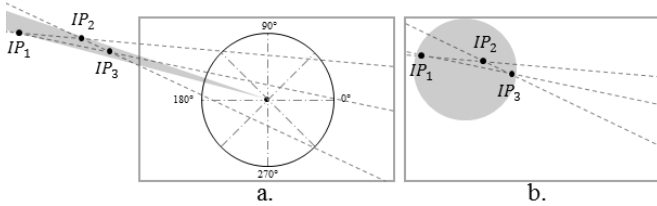
The orientation and angular difference of the power line could vary due to the UAV position and camera view angle. However, HVTL is a group of lines, which are heading to one place and intersecting in one direction. Hence, all possible intersecting points will be find at first (Fig. 6. Intersection Point) with formula (8) in matrix form.



$$A \cdot b = X \quad (8)$$

where:  $A = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ \cos \theta_2 & \sin \theta_2 \end{bmatrix}$ ;  $b = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix}$ ;  $X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$

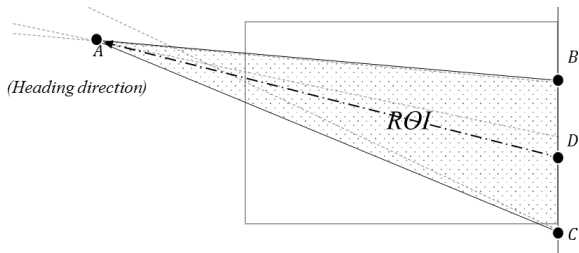
Then, based on these point coordinates, it obtains the most intense area, which outlines the heading direction of power lines (Fig. 6. *Point Clustering*). Two kinds of clustering methods applied on the points to find the concentrated area. First, an angle based clustering is implemented on intersection points, which found outside of the frame (Fig. 7.a). The same clustering method is use as line clustering. If there is no intersection point outside of the frame, the K-mean clustering applied on the points (Fig. 7.b) [13]. In both cases, the cluster, which contains a maximum number of elements, will be select as the heading direction of the power line.



Point clustering. a. angle clustering; b. K-mean clustering

If there is any line, which not intersected in the area that will not considered as a power line (Fig. 6. *Line Filter*) and will be deleted. In other words, the lines that intersected in this area is use for next calculations.

In order to find *region of interest* (ROI), we used the triangle shape. Three points needed to make triangle RIO. The first point found by the point clustering, which indicates the heading direction (Fig. 8. *Point A*). If the K-mean clustering used, the selected cluster coordinate will be this point. If angle clustering used, the farthest point will be used as this point.



Power line Region of Interest

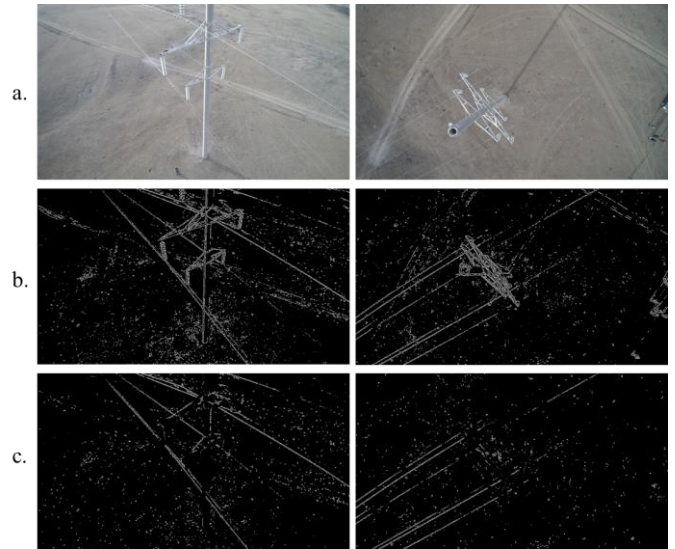
The borderlines used to find out the next two points of ROI (Fig. 8. *Point B and C*). Each borderline crosses with the frame two times. The point located on the opposite side of the frame will selected as the next points of the ROI. After all, three points found, the ROI can be visualized.

Finally, the power line orientation found by the AD median of the ROI triangle. The power line heading direction will be point A (Fig. 8).

## 2. EXPERIMENTAL RESULTS

### Edge Detection and Filtering

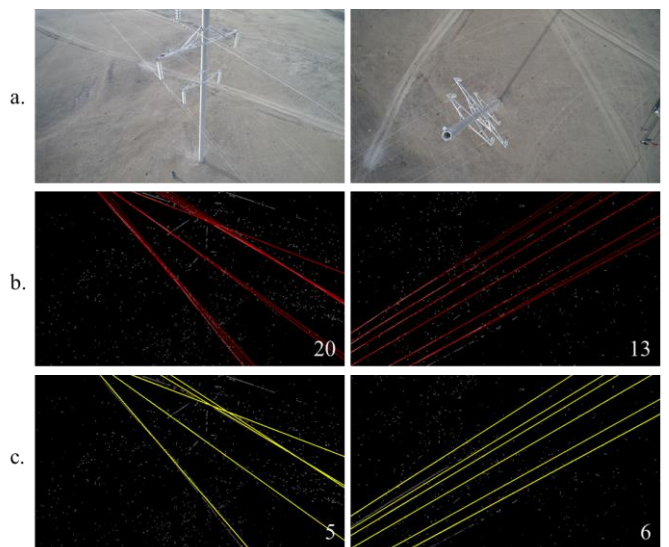
The Edge detection step result is presenting in Fig. 9. The image shows comparison between direct result of CED on the source image (Fig. 9.b) and our proposed method result (Fig. 9.c).



Edge detection and filtering solution. a. source image; b. CED output; c. proposed method

### Line Detection and Clustering

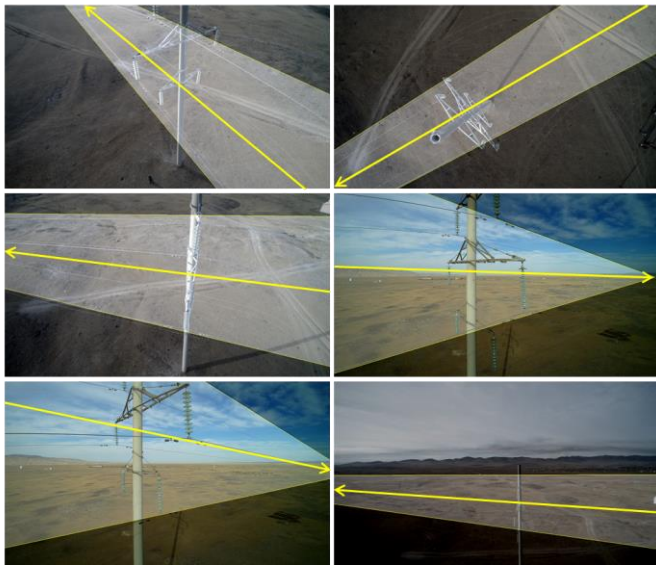
Fig. 10 presents the result of Line Detection and Clustering step. As shown in the figure, the line clustering step groups detected multiple lines (b: left - 20 lines, right - 13 lines) into fewer clusters (c: left - 5 clusters, right - 6 clusters).



Line detection and clustering result. a. source image; b. Hough line detection result; c. line clustering result

## B. Intersection Point Algorithm

The result of the power-line detection algorithm shown in Fig. 11. In the image, the ROI area is highlighting and the power line heading direction is illustrated with a yellow arrowed line.



Intersection point algorithm result

## 3. DISCUSSION

There are few weak points in our method. First, if a single line detected, the intersection point algorithm is not able to carry out. In addition, due to the different contrast and width of the line, our method is no detecting all individual lines. Therefore, our next step is to improve the positive detection rate of each individual lines

However, there are some main benefits of the intersection point algorithm. It finds the power line area (ROI) and heading direction in any orientation from any position with any number of lines.

The further research will mainly focus on the real-time on-board video processing. In order to fulfill this goal, performance improvement, frame-to-frame data processing (result inheritance in following frames), embedded platform selection and implementation studies will be executed.

## CONCLUSION AND FUTURE WORK

Under the scope of power line detection, we attempted to solve three different problems. The first problem is an accurate line detection method. To solve this problem, first, we highlighted the thin lines and then removed the solid object edges. The second problem is multiple candidate lines for a single line. This problem solved with the clustering technique, which groups the lines by  $r$  and  $\theta$  parameters. The cluster number not defined and depended on the line parameters. The third one is the power line orientation and heading direction finding. In our case, the UAV position and camera view angle is not defined and not stationary. Therefore, a fixed or predefined orientation based method is not appropriate. With

the intention of solving this problem, we used the intersection point coordinates.

The experimental result shows this method is able to detect multiple power lines in any orientation and able to obtain out heading direction independently from the detected line number.

## REFERENCES

- [1] J. F. McEvoy, G. P. Hall and P. G. McDonald, "Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition," *PeerJ*, 2016.
- [2] U. Tudevagva, B. Battseren, W. Hardt, S. Blokzyl and M. Lippmann, "UAV Based Fully Automated Inspection System for High Voltage Transmission Lines," *12th International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, 2017.
- [3] R. Ishino and F. Tsutsumi., "Detection system of damaged cables using video obtained from an aerial inspection of transmission lines," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1857-1862, 2004.
- [4] G. Zhou, J. Yuan, I.-L. Yen and F. Bastani, "Robust Real-Time UAV Based Power Line Detection and Tracking," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 744-748, 2016.
- [5] A. Ceron, I. F. M. B and F. Prieto, "Power line detection using a circle based search with UAV images," *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp. 632-639, 2014.
- [6] Y. Liu and L. Mejias, "Real-time Power Line Extraction from," in *2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*, Zurich, 2012.
- [7] K. V.I and K. D.N, "Wire Recognition in Image within Aerial Inspection," *4th Mediterranean Conference on Embedded Computing*, pp. 159-162, 2015.
- [8] B. Battseren, U. Tudevagva, W. Hardt and e. Patchipala, "Intersection Point Based Power Lines Detecting and Tracking Algorithm," *IBS International Summerschool on Computer Science, Computer Engineering and Education Technology*, pp. 55-57, 2017.
- [9] T. S. Huang, G. J. Yang and G. Y. Tang, "A fast two-dimensional median filtering algorithm," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 27, pp. 13-18, 1979.
- [10] C. Poynton, *Digital video and HDTV algorithms and interfaces*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.
- [11] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vols. PAMI-8, pp. 679-698, 1986.
- [12] P. E. H. Richard O. Duda, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Communications of the ACM*, vol. 15, pp. 11-15, 1972.
- [13] J. B. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations," *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, pp. 281-297, 1967.



**Batbayar Battseren** received the B.S. degree in Electronic Engineering in 2009 and M.S. degree in Electronic Engineering in 2011 from Mongolian University of Science and Technology (MUST). He is working as lecturer in MUST since 2011. Since 2017, he is working as researcher and studying Ph.D. at Chemnitz University of Technology in Germany.



**Wolfram Hardt** received the Diploma degree in Computer Science in 1991 and the Dr.-rer. nat. degree in Computer Science in 1996 from University of Paderborn. Later in 2000, he was entitled with Habilitation on the topic: Integration von Verzögerungszeit-Invarianz in den Entwurf eingebetteter Systeme at University of Paderborn. He was working as a Chair of the Computer Science and Process Laboratory of the University of Paderborn since 2000 to 2002, and as a Chair (procuration) of the Operating Systems Department of faculty for Elektrotechnik / Informatik, University of Kassel since 2002 to 2003. He is working as a Chair of the Computer Engineering Department of the faculty for Computer Science since 2003, and as a Dean of the Faculty for Computer Science since 2006 in Technische Universität Chemnitz.



**Uranchimeg Tudevtagva** received the B.S. degree in Computer Engineering from Electro Technical University of Novosibirsk, Russia in 1992 and M.S. degree in Electrical Engineering from Mongolian University of Science and Technology (MUST), Mongolia in 1997, respectively. Later, she received Ph.D. in Computer Science from Novosibirsk State Technical University, Russia in 2004 and ScD (Dr.-Ing.habil) degree from Chemnitz University of Technology, Germany in 2014. Since 1992, she is working in MUST, Mongolia. She made long careers from assistant lecturer to Professor and Researcher in MUST. She is the expert in man-machine systems, human computer interaction, e-learning and distance learning, evaluation theory and evaluation model. She now with Chemnitz University of Technology, Germany.



# Оценка разборчивости произношения слогов: метод и алгоритмы

Новохрестова Д.И.<sup>1,2</sup>, Костюченко Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Пятков А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС), Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

<sup>2</sup> Лаборатория медико-биологических исследований (ЛМБИ), ТУСУР

*Аннотация:* В данной работе описана задача автоматизированной оценки качества произношения слогов через оценку слоговой разборчивости. Рассмотрен применяемый в настоящее время метод, а также иные методы как субъективной, так и объективной оценок качества речи. Рассмотрена применимость оценки разборчивости речи в области информационной безопасности, в том числе в рамках оценки защищенности речевой информации. Описан разработанный алгоритм детектирования голосовой активности для записей слогов в рамках сеансов речевой реабилитации, основанный на подсчете интенсивности звукового потока и ее сравнении со значением, характерным для тишины. Реализован алгоритм динамической трансформации временной шкалы для нормализации по времени для подсчета расстояния между различными реализациями одного и того же слога (как с нормальным, так и с искаженным, то есть без использования языка, произношением). Рассмотрены возможные для применения меры различия (расстояния) между слогами, выбрана мера с наименьшим числом ошибок. Описана попытка применения сглаживания и нормализации по интенсивности перед применением алгоритма временной трансформации временной шкалы, описаны полученные результаты. Предложен метод оценки разборчивости слогов на основе разработанных алгоритмов, описаны входные данные, ограничения, требуемые выходные значения. Предложено дополнение для описанного метода для получения более легких для интерпретации специалистом-логопедом и пациентом оценок. Описана применимость разработанных алгоритмов как непосредственно в области, для которой алгоритмы разрабатывались, так и в области анализа данных и информационной безопасности, например, как часть систем идентификации и верификации диктора.

*Ключевые слова:* оценка качества речи, разборчивость речи, VAD, детектирование голосовой активности, DTW, динамическая трансформация временной шкалы, речевая реабилитация, защита речевой информации

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе создания программного комплекса по оценке разборчивости речи при реабилитации больных после хирургического лечения онкологических заболеваний органов речеобразующего аппарата встал вопрос о необходимости методов и алгоритмов оценки разборчивости произнесения слогов в рамках каждого сеанса реабилитации. Задача состоит в оценке качества произношения фонемы путем сравнения эталонного набора слогов (в рамках данной задачи – записи до операции) и, соответственно, оцениваемого набора слогов (набора, записанного в рамках сеанса реабилитации). Существующий в настоящий момент метод, соответствует ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости» [1] и основан на экспертном мнении группы экспертов, которые путем прослушивания слога выставляют оценку 1 если слог произнесен разборчиво и 0 иначе. Указанный ГОСТ предназначен для оценки разборчивости речи при передаче по каналам связи. Соответственно, алгоритмы, автоматизирующие этот метод, также применимы в областях, связанных с анализом данным в информационных системах и информационной безопасностью, в частности, для систем с верификацией пользователя по ключевому слову или ключевой фразе.

Помимо ГОСТ Р 50840-95 существуют также и иные алгоритмы оценки качества речи, основанные как на субъективной оценке, так и на объективной. К методикам с субъективной оценкой отнесены MOS [2], экспертной оценки качества речи в разговорных ситуациях [3] и аналогичные. Позволяют добиться объективных оценок методы PESQ [4], E-модель [5], метод на основе подсчета оценки как отношение сигнал/шум (SNR) и сегментное соотношение сигнал/шум (segSNR) [6]. Недостаток всех этих методов для решаемой задачи в том, что в них эталонный и оцениваемый сигнал одинаков по своему содержанию, все искажения вносятся за счет канала передачи, и методы по сути пытаются оценивать технические характеристики каналов через оценку вносимых искажений.

Методы оценки качества речи используются в области защиты информации в контексте защиты речевой информации. В работах [7, 8] описаны различные подходы и методы к оценке защищенности речи в задачах защиты информации. В работе [9] описаны критерии оценки защищенности речевой информации через расчет словесной разборчивости речи. В работе [10] проанализированы погрешности оценки словесной разборчивости речи в задачах защиты информации.

## 1. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Прежде всего необходимо описать входные данные для метода и алгоритмов, ограничения и те значения, которые должны получаться в итоге. Входными данными служат записи слогов пациентов, как уже говорилось ранее, эталонный набор слогов и оцениваемый набор слогов. Причем оцениваемый набор слогов может браться как уже существующий, так и записываться в процессе сеанса. Соответственно, требуется возможность подсчета оценки в режиме реального времени (или близком к нему). Так как уже существующие записи представленный в виде наборов звуковых файлов, записанных по принципу «один слог – один файл» без лишних отрезков тишины, то необходима разработка алгоритма детектирования голоса, который будет сам отрезать тишину и записывать отдельные слоги в разные файлы. Так как при заболеваниях такой локализации проблемы возникают только с некоторым фонемами, то предлагается ввести оценку не всего набора слогов из ГОСТ Р 50840-95, а только слогов с проблемными фонемами. Были проанализированы записи пациентом с такими заболеваниями в процессе реабилитации, были выделены проблемные фонемы [11] и составлен список слогов, содержащих проблемные фонемы в трех возможных расположениях в слоге (в начале, середине и конце слога) [12].

Оценка разборчивости подсчитывается на основе подсчета расстояния между некоторыми представлениями слогов согласно выбранной метрике. Для всех рассматриваемых метрик для получения количественной оценки существует требование о нормализации по длительности сравниваемых фрагментов, поэтому был реализован алгоритм динамической трансформации временной шкалы (DTW). Были рассмотрены различные метрики, такие как Евклидово расстояние, метрика Минковского с различными параметрами, коэффициент корреляции, меры расстояния, получаемой как расстояние согласно DTW и т.д.

## 2. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Был разработан алгоритм детектирования голосовой активности, основанной на подсчете интенсивности звукового потока и сравнении полученного значения с некоторыми постоянными значениями. Сами постоянные значения получаются путем подсчета интенсивности звукового потока с отсутствием голосовой активности. Разработанный алгоритм был протестирован, единственная выявленная проблема – при краткосрочных помехах микрофона или достаточно громком краткосрочном постороннем шуме пропускаются некоторые слоги. Эта проблема решается путем добавления в программный комплекс возможности «откатиться» на предыдущий слог в процессе записи сеанса.

Был реализован алгоритм динамической трансформации временной шкалы (DTW), для выбора метрики расстояния были сравнены три меры различия: DTW-расстояние, Евклидово расстояние, коэффициент корреляции. Тест проводился на трех наборах записей слогов: два набора с нормальным, «эталонным» произношением проблемной фонемы (норма 1 и норма 2), один набор с искаженным произношением, а именно без использования языка при произношении проблемной фонемы (искажение). Были получены средние оценки каждой из пар сеансов, общая и относительная оценки сеанса, количество ошибок при подсчете, время выполнения одного расчета, найденного путем деления общего времени подсчета оценок на количество подсчетов (таблица 1). Под ошибкой понимается ситуация, когда расстояние между эталонными произношениями больше, чем среднее расстояние между парами эталонное-искаженное произношения. Наименьшим количеством ошибок при подсчете обладает DTW-расстояние, поэтому именно он предлагается к использованию в программном комплексе.

Таблица 1  
Полученные результаты для выбранных мер различия

		Мера различия		
		DTW-расстояние	Евклидово расстояние	Коэффициент корреляции
Оценка сеанса	Норма1-норма2	1,405	0,137	0,401
	Норма1-искажение	1,480	0,141	0,365
	Норма2-искажение	2,248	0,214	0,413
	Общая	1,864	0,178	0,389
Относительная оценка сеанса		0,754	0,772	1,031
Количество ошибок	Норма1-искажение	32	40	52
	Норма2-искажение	2	16	46
	В обеих парах	1	12	33
Время выполнения (сек на 1 оценку)		3,54	3,30	5,32

Также была предпринята попытка предварительного сглаживания сигналов перед применением алгоритма DTW ввиду наличия



ошибок при подсчете расстояний. Были сравнены DTW-расстояния между исходными сигналами, сигналами, сглаженными методом простого скользящего среднего, нормализованными по интенсивности сигналами и нормализованными по интенсивности сигналами, сглаженными методом простого скользящего среднего. Результаты представлены в таблице 2. Наименьшее количество ошибок получилось у DTW-расстояния между исходными сигналами.

Таблица 2  
Результаты применения алгоритмов со сглаживанием и нормализацией

		Алгоритм			
		DTW	DTW с нормализацией по интенсивности	DTW со сглаживанием	DTW с нормализацией по интенсивности и сглаживанием
Оценка сеанса	Норма1-норма2	1,405	4,410	0,225	0,402
	Норма1-искажение	1,480	4,878	0,259	0,445
	Норма2-искажение	2,248	4,723	0,232	0,430
	Общая	1,864	4,800	0,246	0,438
Относительная оценка сеанса		0,738	0,754	0,919	0,918
Количество ошибок	Норма1-искажение	32	29	33	29
	Норма2-искажение	2	37	42	36
	В обеих парах	1	19	24	19
Время выполнения (сек на 1 оценку)		3,54	3,80	3,26	3,78

Однако из-за того что был рассмотрен ограниченный список методов сглаживания и нормализации, в дальнейших исследованиях возможна доработка алгоритма с подбором таких методов предварительного преобразования сигнала, которые улучшат получаемые результаты.

Предлагается следующий метод оценки:

1. Выбор эталонного набора записей и оцениваемого набора записей (либо запись оцениваемого набора с использованием разработанного алгоритма детектирования голосовой активности).

2. Нахождение расстояние между парой эталонных записей одного и того же слога (фонемы) – требуется однократно, либо при записи эталонных сеансов, либо при оценке первого сеанса в процессе реабилитации.

3. Нахождение расстояния между первой эталонной записью слога и записью этого же слога с искаженным произношением.

4. Нахождение расстояния между второй эталонной записью слога и записью этого же слога с искаженным произношением.

5. Нахождение среднего расстояний, полученных в пп. 3-4.

6. Сравнение полученного среднего со значением, полученным в п.2, вывод о качестве произношения.

7. Повторение пп 2-6 для всех слогов из набора.

Данный метод предполагает, что наборов эталонных записей сеансов будет два. Также возможно модернизация пункта 6 путем добавления нахождения отношения расстояния между эталонными записями к полученному среднему расстояний между парами искаженное-нормальное произношение, тем самым упрощается интерпретация результатов для специалиста-логопеда и пациента, т.е. результат заключен в интервал от 0 до 1 и чем ближе результат к 1, тем качественнее произнесен слог.

### МЕТОДИКА РЕАБИЛИТАЦИИ

Разработанные алгоритмы были включены в состав программного комплекса по оценке качества речи «Speech Quality Assessment». Применение программного комплекса также позволяет использовать механизмы биологической обратной связи (БОС) в процессе речевой реабилитации. Предлагается следующая схема реабилитации:

Этап 1. Запись двух сеансов слоговой разборчивости согласно выбранному списку слогов до операции – эталонные сеансы, подсчет количественных оценок качества произношения каждого слога, средней оценки сеанса, оценок качества произношения определенного набора фонем (согласно списку слогов). Подсчитанные оценки на сеансах до операции – уровень качества произношения, которого предполагается достигнуть за время речевой реабилитации – эталонный уровень.

Этап 2. После проведение операции, запись сеанса слоговой разборчивости, подсчет оценки сеанса на основе сравнения его с эталонными сеансами и подсчет среднего. Если оценка сеанса близка к эталонному уровню, то необходимости в проведении речевой

реабилитации нет. Если уровень ниже, то пациенту предлагается пройти речевую реабилитацию. На основе подсчитанных оценок качества произношения фонем можно выделить «проблемные» фонемы и скорректировать тренировки с учетом особенностей пациента.

Этап 3. Тренировки речи. Тренировки проводятся согласно плану, составленному специалистом-логопедом.

Этап 4. Запись сеанса слоговой разборчивости, сравнение с оценками предыдущего сеанса, вывод динамики восстановления речи. Именно по динамике можно судить об эффективности тренировок речи.

Этапы 3-4 повторяются до достижения цели речевой реабилитации – достижения эталонного уровня, либо до получения вывода о невозможности дальнейшего проведения речевой реабилитации.

На основе динамики можно корректировать план по тренировке речи. Если по некоторым фонемам оценки стали ухудшаться относительно эталонного уровня, то предлагается скорректировать тренировку в сторону увеличения упражнений на проработку данных фонем, если же оценка фонемы достигла эталонного уровня, уменьшить количество упражнений. Совсем убирать упражнения на фонему не рекомендуется ввиду необходимости в комплексности тренировок.

Биологическую обратную связь предлагается использовать в этапе 4. Функциональная схема проведения сеанса слоговой разборчивости представлена на *Рисунке*.



*Рисунок.* Функциональная схема сеанса оценки качества произношения слогов с применением технологии БОС

Сеанс записи представляет собой последовательное произношение слогов согласно списку. Для облегчения понимания того, что необходимо произнести, в программе отображается слог, его транскрипция, а по аудиальному каналу воспроизводится аудиозапись эталонного произношения. При произношении слога в микрофон пациент на экране видит количественную оценку качества произношения, а также некоторое положительное подкрепление (положительной обратной связи), сигнализирующие о том, что слог произнесен качественнее (оценка слога в этом сеансе ближе к эталонной) по сравнению с предыдущим сеансом.

По окончании сеанса возможно построение динамики качества для каждой из проблемных фонем с наличием положительного подкрепления относительно тех фонем, для которых качество произношения улучшилось. При отсутствии положительной динамики предлагается использование отрицательной обратной связи, направленной на определение тех слогов или фонем, для которых качество ухудшилось.

При такой схеме проведение сеанса оценки качества произношения фонем присутствие специалиста-логопеда на самом сеансе записи не обязательно, его участие заключается лишь в выборе эталонных сеансов для пациента (если это не было сделано ранее), более детального пояснения результатов, полученных по итогам сеанса при необходимости, а также корректировки плана тренировок в соответствии с полученными оценками.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задачи автоматизированной оценки качества произношения слогов был разработан алгоритм детектирования голосовой активности на основе подсчета интенсивности звукового потока, описан метод нахождения количественных оценок разборчивости произношения слогов. Также был реализован и адаптирован алгоритм динамической трансформации временной шкалы для получения меры различия между двумя звуковыми реализациями слогов, Рассмотрение различных мер различия и преобразовании временных последовательностей позволило определить оптимальные параметры рассматриваемого алгоритма. Разработанные алгоритмы были включены в состав программного комплекса по оценке качества речи «Speech Quality Assessment». Предложена методика реабилитации на основе программного комплекса с использованием механизмов биологической обратной связи для достижения наилучших результатов.

Разработанные метод и алгоритмы могут быть использованы в системах безопасности как метод верификации пользователя по ключевой фразе или ключевому слову. На основе

сравнения предъявленного идентификатора в виде произнесенной контрольной фразы/слова и имеющихся в базе данных идентификаторов пользователей можно подсчитать меру схожести и на ее основе сделать вывод о прохождении или непрохождении процедуры верификации.

В информационно-аналитических системах применение алгоритмов возможно для распознавания каких-либо ключевых фраз, анализа постоянного звукового потока и фиксации моментов с определёнными параметрами. Реализуемые методы и алгоритмы позволяют почти в режиме реального времени обрабатывать большие потоки данных. На основе анализа звуковых потоков возможна организация системы поддержки принятия решений в процессе управления.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-15-00038).

### ЛИТЕРАТУРА

[1] ГОСТ Р 50840-95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996 – 234 с.

[2] Г.Г. Яновский Оценка качества передачи речи в сетях IP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://niits.ru/public/2008/2008-008.pdf>

[3] Friedemann Koster Introducing a new Test-Method for Diagnostic Speech Quality Assessment in a Conversational Situation [Электронный ресурс]/ Friedemann Koster, Sebastian Molle - Technische Universität Berlin, March 2016 – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/303339436\\_Introducing\\_a\\_new\\_Test-Method\\_for\\_Diagnostic\\_Speech\\_Quality\\_Assessment\\_in\\_a\\_Conversational\\_Situation](https://www.researchgate.net/publication/303339436_Introducing_a_new_Test-Method_for_Diagnostic_Speech_Quality_Assessment_in_a_Conversational_Situation)

[4] Сандовал-Ибарра, Ю. Улучшение качества речи с использованием адаптивных спектральных оценок [Электронный ресурс]/ Ю. Сандовал-Ибарра, В. Диаз-Рамирез, В.И. Кобер, В.Н. Карнаухов // Информационные процессы. – 2015 - № 3. – Режим доступа: <http://www.jip.ru/2015/314-323-2015.pdf>

[5] Полторак В. П., Моргалъ О. М., Заика Ю. А. Оценка качества передачи речи в IP-телефонии [Электронный ресурс]/ Молодой ученый. — 2014. — №4. — С. 121-123. — URL <https://moluch.ru/archive/63/9849/>

[6] Способы оценки субъективного качества речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/177099/>

[7] Смирнов, В.И. Оценки защищенности речевой информации в выделенном помещении с помощью инструментально-расчетного метода [Электронный ресурс]/ В.И. Смирнов // Кибернетика и программирование. – 2012 - № 2. – Режим доступа: [http://enotabene.ru/kp/article\\_13869.html](http://enotabene.ru/kp/article_13869.html)

[8] Большов, О.А. Об оценке защищенности речевой информации в радиоканалах связи при

вокодерных преобразованиях [Электронный ресурс]/ О.А. Большов // Труды МАИ. – 2010 - № 41. – Режим доступа: <http://trudymai.ru/upload/iblock/611/ob-otsenke-zashchishchennosti-rechevoy-informatsii-v-radiokanalakh-svyazi-pri-vokodernykh-preobrazovaniyakh.pdf>

[9] Дворянкин, С.В. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам [Электронный ресурс]/ С.В. Дворянкин, Ю. К. Макаров, А. А. Хорев // Защита информации. Инсайды. – 2007. - № 2. – Режим доступа: [http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block\\_article137](http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block_article137)

[10] Трушин, В.А. о методических погрешностях оценки словесной разборчивости речи в задачах защиты информации [Электронный ресурс]/ В.А. Трушин, И.Л. Рева, А. А. Иванов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. - № 1(25). – Режим доступа: [http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block\\_article137](http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block_article137)

[11] Roman Mescheryakov, Evgeny Kostyuchenko, Dariya Ignatieva (Novokhrestova), Alexander Pyatkov, Evgeny Choynzonov, Lidiya Balatskaya Speech quality measurement automation for patients with cancer of the oral cavity and oropharynx. / 2016 INTERNATIONAL SIBERIAN CONFERENCE ON CONTROL AND COMMUNICATIONS SIBCON, Russia, Moscow, May 12-14, 2016

[12] Evgeny Kostyuchenko Model of system quality assessment pronouncing phonemes [Электронный ресурс] / Evgeny Kostyuchenko, Roman Meshcheryakov, Dariya Ignatieva, Alexander Pyatkov, Evgeny Choynzonov, and Lidiya Balatskaya // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2016. — Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7819016/>

**Дарья Игоревна Новохрестова**, ассистент кафедры комплексной информационной безопасности электронного-вычислительных систем (КИБЭВС), техник лаборатории медико-биологических исследований (ЛМБИ), выпускник кафедры безопасности информационных систем (БИС) ТУСУР 2018 г., [devijas@yandex.ru](mailto:devijas@yandex.ru) [ndi@fb.tusur.ru](mailto:ndi@fb.tusur.ru)

**Евгений Юрьевич Костюченко**, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексной информационной безопасности электронного-вычислительных систем (КИБЭВС), заместитель заведующего лаборатории медико-биологических исследований (ЛМБИ) ТУСУР, [key@keva.tusur.ru](mailto:key@keva.tusur.ru)

**Александр Владиславович Пятков**, студент кафедры безопасности информационных систем (БИС), техник лаборатории медико-биологических исследований (ЛМБИ) ТУСУР [alexanator\\_1993@mail.ru](mailto:alexanator_1993@mail.ru)

Телефон ответственного автора +79131161297  
Статья получена 14 июля 2018 г.

## Evaluation of the Intelligibility of Pronunciation of Syllables: Method and Algorithms

Novokhrestova D.I.<sup>1,2</sup>, Kostyuchenko E.Yu.<sup>1,2</sup>, Pyatkov A.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (CIBEVS), Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)

<sup>2</sup> Laboratory for Biomedical Research (LMBI), TUSUR

*Abstract:* In this paper, we describe the problem of the automated estimation of the pronunciation quality of syllables through the evaluation of syllabic intelligibility. The method currently used is being considered, as well as other methods of both subjective and objective assessments of the quality of speech. The applicability of speech intelligibility assessment in the field of information security is considered, including in the framework of assessing the security of voice information. A developed algorithm for detecting voice activity for syllable records within the framework of speech rehabilitation sessions is described, based on the calculation of the intensity of the sound flow and its comparison with the value characteristic for silence. The algorithm for dynamic transformation of the time scale for time normalization is implemented to calculate the distance between different implementations of the same syllable (both normal and distorted, that is, without the use of language, pronunciation). The possible measures of difference (distance) between syllables possible for application are considered, the measure with the least number of errors is chosen. An attempt is made to apply smoothing and intensity normalization before applying the temporal scale time transformation algorithm, and the results are described. A method for evaluating the intelligibility of syllables based on the developed algorithms is proposed, input data, limitations, required output values are described. An addition is proposed for the described method for obtaining more easy estimates for the expert interpretation of the speech therapist and the patient. Applicability of the developed algorithms is described both directly in the area for which the algorithms were developed, and in the field of data analysis and information security, for example, as part of the speaker identification and verification systems.

*Key words:* speech quality estimation, speech intelligibility, VAD, voice activity detection, DTW, dynamic time scale transformation, speech rehabilitation, speech information protection

### REFERENCES

- [1] GOST R 50840-95 Peredacha rechi po traktam svyazi. Metody otsenki kachestva, razborchivosti i uznayemosti. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1996 – 234 s.
- [2] G.G. Yanovskiy Otsenka kachestva peredachi rechi v setyakh IP [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://niits.ru/public/2008/2008-008.pdf>
- [3] Friedemann Koster Introducing a new Test-Method for Diagnostic Speech Quality Assessment in a Conversational Situation [Elektronnyy resurs]/ Friedemann Koster, Sebastian Molle - Technische Universität Berlin, March 2016 – Rezhim dostupa: [https://www.researchgate.net/publication/303339436\\_Introducing\\_a\\_new\\_Test-Method\\_for\\_Diagnostic\\_Speech\\_Quality\\_Assessment\\_in\\_a\\_Conversational\\_Situation](https://www.researchgate.net/publication/303339436_Introducing_a_new_Test-Method_for_Diagnostic_Speech_Quality_Assessment_in_a_Conversational_Situation)
- [4] Sandoval-Ibarra, YU. Uluchsheniye kachestva rechi s ispol'zovaniyem adaptivnykh spektral'nykh otsenok [Elektronnyy resurs]/ YU. Sandoval-Ibarra, V. Diaz-Ramirez, V.I. Kober, V.N. Karnaukhov // Informatsionnyye protsessy. – 2015 - № 3. – Rezhim dostupa: <http://www.jip.ru/2015/314-323-2015.pdf>
- [5] Poltorak V. P., Morgal' O. M., Zaika YU. A. Otsenka kachestva peredachi rechi v IP-telefonii [Elektronnyy resurs]// Molodoy uchenyy. — 2014. — №4. — S. 121-123. — URL <https://moluch.ru/archive/63/9849/>
- [6] Sposoby otsenki sub'yektivnogo kachestva rechi [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://habrahabr.ru/post/177099/>
- [7] Smirnov, V.I. Otsenki zashchishchennosti rechevoy informatsii v vydelenom pomeshchenii s pomoshch'yu instrumental'no-raschetnogo metoda [Elektronnyy resurs]/ V.I. Smirnov // Kibernetika i programmirovaniye. – 2012 - № 2. – Rezhim dostupa: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_13869.html](http://e-notabene.ru/kp/article_13869.html)
- [8] Bol'shov, O.A. Ob otsenke zashchishchennosti rechevoy informatsii v radiokanalakh svyazi pri vokodernykh preobrazovaniyakh [Elektronnyy resurs]/ O.A. Bol'shov // Trudy MAI. – 2010 - № 41. – Rezhim dostupa: <http://trudymai.ru/upload/iblock/611/ob-otsenke-zashchishchennosti-rechevoy-informatsii-v-radiokanalakh-svyazi-pri-vokodernykh-preobrazovaniyakh.pdf>
- [9] Dvoryankin, S.V. Obosnovaniye kriteriyev effektivnosti zashchity rechevoy informatsii ot utehki po tekhnicheskim kanalim [Elektronnyy resurs]/ S.V. Dvoryankin, YU. K. Makarov, A. A. Khorev // Zashchita informatsii. Insayd. – 2007. - № 2. – Rezhim dostupa: [http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block\\_article137](http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block_article137)
- [10] Trushin, V.A. o metodicheskikh pogreshnostyakh otsenki slovesnoy razborchivosti rechi v zadachakh zashchity informatsii [Elektronnyy resurs]/ V.A. Trushin, I.L. Reva, A. A. Ivanov // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. – 2012. - № 1(25). – Rezhim dostupa: [http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block\\_article137](http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block_article137)
- [11] Roman Mescheryakov, Evgeny Kostyuchenko, Dariya Ignatieva (Novokhrestova), Alexander Pyatkov, Evgeny Choynzonov, Lidiya Balatskaya Speech quality measurement automation for patients with cancer of the oral cavity and oropharynx. / 2016 INTERNATIONAL SIBERIAN CONFERENCE ON CONTROL AND COMMUNICATIONS SIBCON, Russia, Moscow, May 12-14, 2016
- [12] Evgeny Kostyuchenko Model of system quality assessment pronouncing phonemes [Elektronnyy resurs] / Evgeny Kostyuchenko, Roman Meshcheryakov, Dariya Ignatieva, Alexander Pyatkov, Evgeny Choynzonov, and Lidiya Balatskaya // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2016. — Rezhim dostupa: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7819016/>

**Darya Igorevna Novokhrestova**, Assistant of the Department of Comprehensive Information Security of Electronic Computing Systems (CIBEVS), Technician of the Laboratory for Biomedical Research (LMBI),



graduate of the Department of Information Systems Security (TISUR) in 2018, devijas@yandex.ru  
[ndi@fb.tusur.ru](mailto:ndi@fb.tusur.ru)

**Evgeny Yuryevich Kostyuchenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (CIBEVS), Deputy Head of the Laboratory of Biomedical Research (LMBI) TUSUR, [key@keva.tusur.ru](mailto:key@keva.tusur.ru)

**Alexander Vladislavovich Pyatkov**, a student of the Department of Information Systems Security (BIS), a technician of the Laboratory for Biomedical Research (LMBI), TUSUR [alexanator\\_1993@mail.ru](mailto:alexanator_1993@mail.ru)

Phone of the responsible author +79131161297

The paper was received on July 14, 2018.

# Статистический анализ метрик программного кода

Е.Л.Романов, Л.А.Коршикова,

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Россия. 630090, просп. К. Маркса, д. 20.

*Аннотация* — Использование метрик программного кода в управлении процессами программной инженерии затруднено в связи с отсутствием соответствующей отраслевой статистики. Описана программа сбора и анализа метрик байт-кода, позволяющая скачивать тематические выборки jar-файлов с репозитория maven, вычислять основные параметры и визуализировать гистограммы распределения метрик байт-кода. С помощью программы и стандартных средств статистического анализа проведено исследование статистики 11 метрик объектно-ориентированного кода на различных выборках jar-файлов. Определены объемные показатели выборки, на которой обеспечивается статистическая достоверность полученных законов распределения. Определены законы распределения и основные статистические параметры метрик. Приведены примеры экспертной оценки кода программного проекта на основе анализа метрик, нормированных к полученным статистическим значениям.

*Ключевые слова* — Java, байт-код, метрики программного кода, репозиторий, статистика, закон распределения, достоверность, отраслевая статистика, экспертная оценка качества проекта.

## ВВЕДЕНИЕ

Программный код — единственная «материальная» ценность, создаваемая в программном проекте. От его качества зависят как текущие характеристики программного продукта, так и перспективы его успешного сопровождения. Качество кода определяется как соответствие формальным требованиям, выраженных в метрических характеристиках. Общеизвестный набор метрик в настоящее время «канонизирован» и не претерпевает существенных изменений. Существуют онлайн- и офлайн-системы [1,2] документирования, сопровождения и получения метрических характеристик проекта, а также многочисленные плагины в интегрированных средах разработки [3]. На самой простой количественной метрике — количестве строк кода исходного текста (SLOC) — основана наиболее популярная методика оценки трудоемкости разработки программного обеспечения COSOMO [4].

Поддержка качества кода *не гарантирует его эксплуатационных свойств* — надежности, устойчивости, вероятности ошибок: перечисленные свойства обеспечиваются тестированием кода и артефактов проектирования. Однако при прочих равных условиях качество кода также способствует этому. Иными словами, некачественный код может быть сколь угодно «хорошим», но для разработки «хорошего» кода желательно поддерживать его качество.

Другим фактором не в пользу метрик является отсутствие рамочных законов, позволяющих оценить или рассчитать фундаментальные свойства программного продукта на основе его кода. Для сравнения: в мостостроении конструкция моста может быть сколь угодно оригинальной, но она рассчитывается по правилам и законам сопротивления материалов.

При существующем положении вещей получение метрических характеристик качества кода преследует цели:

- поддержание стандартов кода при коллективном владении кодом;
- обнаружение потенциально опасного кода;
- обнаружение узких мест в структуре кода;
- мониторинг разрабатываемого проекта в системе контроля качества при наличии статистики, развернутой по времени.

На практике в основном преобладает прагматический подход: используются средства поддержания стандартов кодирования — единообразная стилистика кода и простые количественные метрики.

Сами по себе метрические характеристики ничего не дают. Их необходимо как-то интерпретировать, как минимум, в сравнении с имеющейся статистикой. Здесь в программной инженерии сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, нас окружает огромное количество общедоступного программного кода, как в исходных текстах, так и в промежуточных платформенно-независимых форматах (байт-код виртуальной машины Java - JVM). С другой стороны, общедоступная статистика его метрик отсутствует. Такая статистика по основным показателям качества программного кода, пусть даже качества формального, может быть полезна, прежде всего, как основа отраслевой статистики, относительно которой можно будет проводить исследования и оценки качества отдельных проектов. Пока что такая оценка выглядит как «вещь в себе» — полученные метрики не с чем сравнивать, можно только анализировать временной тренд полученных показателей.

Львиная доля общедоступного промежуточного кода представлена байт-кодом JVM, который является платформенно-независимым стандартом

де-факто. Средства распределенной сборки проектов и доступа к артефактам позволяют формализовать процесс получения необходимого статистического материала. На сегодняшний день один лишь репозиторий maven [7] хранит порядка  $10^7$  ссылок на артефакты (jar-файлы). Основным недостатком здесь является подверженность результатов измерения метрик оптимизациям компилятора.

### МЕТРИКИ КОДА: ГДЕ, КАК И ЧЕМ СОБИРАТЬ?

«Исходный материал» для получения метрик доступен в трех формах: исходные тексты программ, промежуточный код и архитектурно-зависимый машинный код.

Исходные тексты программ позволяют получить наиболее точные показатели метрик. Статистическое исследование является репрезентативным в рамках конкретного языка программирования, а выборка представляет собой множество программ с открытым исходным текстом, реализованных на данном языке. В случае анализа интерпретируемых языков программирования это - единственный доступный подход.

Исследование машинного кода невозможно без привязки к аппаратной среде. В силу своего низкого уровня, оно ограничено в наборе метрик — так, невозможно провести анализ метрик объектно-ориентированного кода (объекты являются абстракцией высокого уровня). Выборка репрезентативна для программ, скомпилированных для определенного набора процессорных инструкций. В дополнении к традиционным метрикам здесь можно оценить время выполнения программ и объем потребления аппаратных ресурсов.

В байт-коде JVM сохраняется информация о сущностях и отношениях высокого уровня — таких как «Класс», «Метод», «Поле», «Вызов метода», и других, что позволяет измерить показатели метрик объектно-ориентированного кода. Большая часть оптимизаций выполняется во время выполнения программы, что позволяет избежать искажения показателей метрик. Выборка является платформенно-независимой, репрезентативной для семейства языков, компилируемых в байт-код JVM (более 200 языков), а также обладает наибольшим объемом по сравнению с двумя другими подходами.

На нижнем уровне системы сбора и анализа статистики необходимы средства, позволяющие анализировать байт-код и получать необходимые метрики. В Таблице 1 представлен список таких программных средств.

Представленные в списке решения не удовлетворяют необходимому набору требований: наличие свободной лицензии, актуальная поддержка, возможность массового исследования кода программы – одновременный анализ группы классов пакета или архива. Поэтому была проведена разработка оригинальной библиотеки сбора метрик байт-кода [8] на основе фреймворка ASM [9], который осуществляет разбор class-файлов через программный интерфейс, реализующий паттерн «посетитель».

Табл. 1.

ПО анализа метрик байт-кода

Название	Лицензия		Массовый анализ
Dependency Finder	Свободная (BSD License 2.0)	2010	Да
JDepend	Свободная (BSD License)	2005	Да
CyVis	Свободная (GNU General Public License)	2006	Да
Ckjm	Свободная (Apache License)	2014	Нет
Jqassistant	Свободная (GPLv3 License)	2018	Нет
JArchitect	проприетарная	2018	Да
Jtest	проприетарная	2018	Да
Sonargraph	проприетарная	2018	Да

### ПРОГРАММА СБОРА, АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ JAVA-КОДА

Программа статистического анализа метрик байт-кода (рис.1,2) дает необходимый минимум средств для сбора, статистической обработки и разведочного анализа данных — метрик программного кода:

- сбор основных метрических характеристик байт-кода из проектов и библиотек, представленных в виде jar-файлов;
- поддержка выборок jar-файлов в одноименных каталогах;
- сканирование и загрузка jar-файлов с Maven-репозитория [5] по категориям, вводимым в виде ключевых слов поиска на сайте репозитория;
- сбор исходных данных метрик как по отдельным проектам/библиотекам, так и по категории в целом;
- генерация представительных выборок по исходному множеству значений метрики;
- экспорт основных характеристик законов распределения и данных гистограмм собираемых метрик в текстовые файлы;
- визуализация гистограмм распределений метрик.

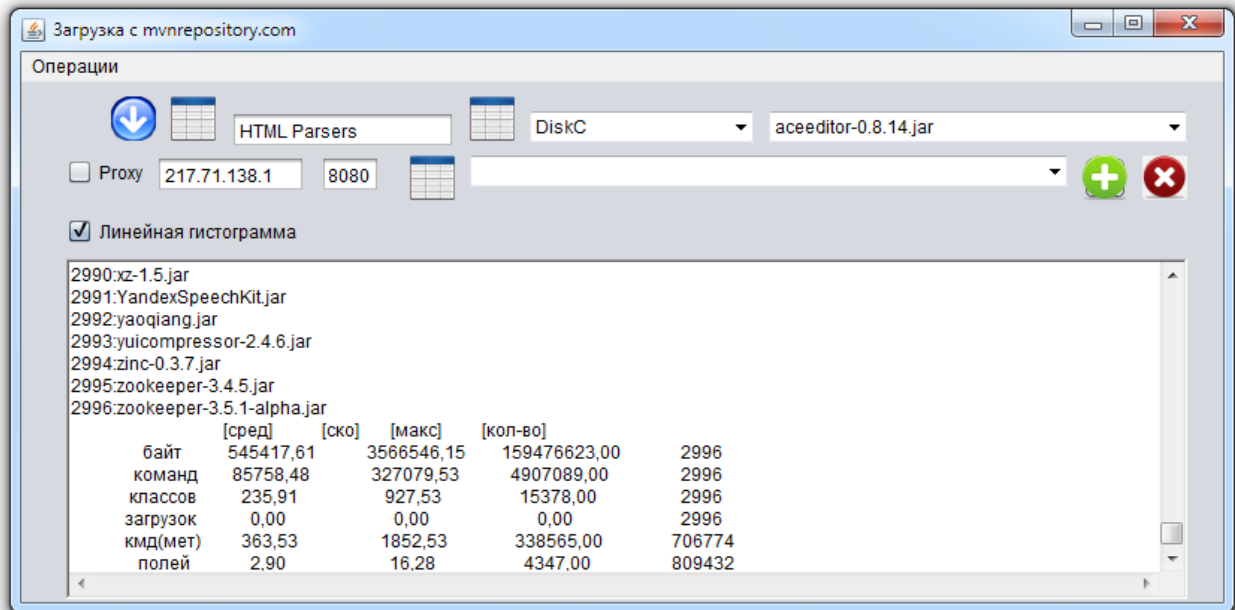


Рис. 1. Внешний вид программы

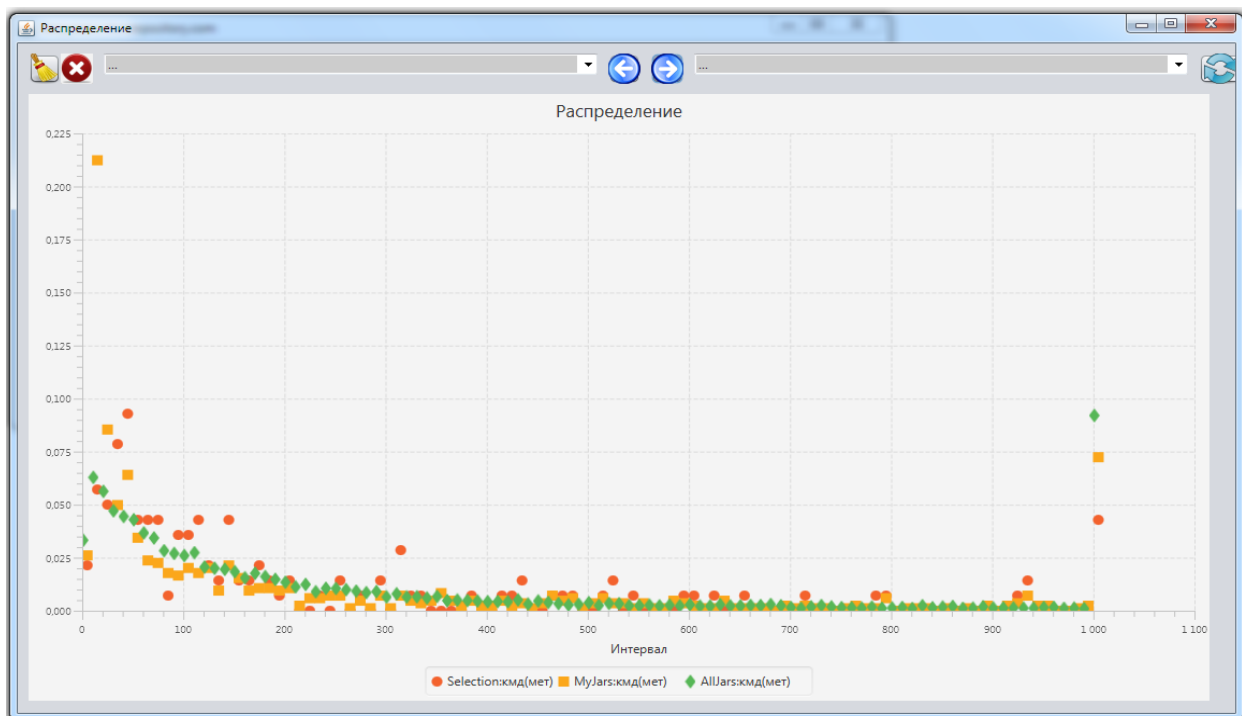


Рис.2. Гистограммы статистик метрики для разных категорий

## АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ БАЙТ-КОДА

Для практического использования статистики данных по метрикам байт-кода необходимо решить следующие задачи:

- определить, насколько объем исходных данных позволяет судить о достоверности вероятностных характеристик метрик – законов распределения и их основных параметров;

- произвести детальный анализ каждой метрики. Определить виды законов распределения данных метрики;
- разработать методику оценки состояния программного проекта на основе сравнения метрик проекта со статистикой метрик.

### Метрики кода и исходные данные

Поскольку байт-код является объектно-ориентированным, статистической единицей



измерения метрики как случайной величины является класс.

Исследование проводилось для метрик двух видов. К первому относятся метрики байт-кода и проекта, не относящиеся к каноническим наборам. Некоторые из них имеют отношение к проекту (jar-файлу) в целом. Все они имеют оригинальные аббревиатуры:

- размерность jar-файла проекта в байтах - **JFS** (JarFile Size);
- количество команд байт-кода в jar-файле (проекте) – **JCS** (Jar Code Size);
- количество загрузок проекта из репозитория – **NoDL** (Number of DownLoads);
- количество классов – **JNoC** (Jar - Number of Classes);
- количество полей в классе – **NoF** (Number of Fileds);
- количество методов в классе – **NoM** (Number of Methods);
- общее количество полей и методов класса – **NoFM** (Number of Fields and Methods);
- длина байт-кода метода, количество команд в методе – **MCS** (Method Code Size).

Следующие метрики из групп Чидамбера/Кемерера и Мартина являются стандартными и имеют общепринятые обозначения:

- центростремительное сцепление **Ca** (Afferent Couplings) – количество классов вне категории (пакета), зависящих от классов этой категории;
- центробежное сцепление **Ce** (Efferent Couplings) - количество классов внутри категории (пакета), которые зависят от классов вне этой категории;
- Нестабильность **I** (Instability),  $I = Ce / (Ca + Ce)$ ;
- высота дерева наследования - **DIT** (Depth of Inheritance Tree) - максимальная длина пути (количество вершин – классов) по дереву наследования
- количество потомков класса - **NOC** (Number of Children) – среднее количество прямых наследований класса
- сцепление между классами - **CBO** (Coupling Between Object Classes) – общее количество вызовов методов и использования свойств объектов других классов в коде класса
- взвешенный суммарный вес методов в классе - **WMC** (Weighted Methods per Class) – сумма значений цикломатической сложности методов в классе

В качестве исходных данных использовались наборы jar-файлов, разбитые на группы в зависимости от цели анализа и «происхождения»:

Группа наборов большого объема (группа 1):

- все доступные файлы, скачанные из репозитория, а также находящиеся на системном диске в различных средах разработки (Android, Java EE, Java SE, JDK, Scala, NetBeans, IntelJJ IDEA) – **DiskC** (2996 проектов, 806525 классов);

- jar-файлы большого размера (более 6.8 Мб) из первого набора;
- jar-файлы малого размера (менее 1 Мб) из первого набора.

Группа наборов по предметной области программирования, скачанных с репозитория Maven [5] – **HTTP** (категории HTTP Clients, HTTP Parser), **JDBC**, **JVM** (категории JVM Libraries, ByteCode Analysers), **JSON**, **Audio** (группа 2).

Отдельные jar-файлы большого размера распространенных средств разработки (**Android**, **RxJava**), набор jar-файлов собственных проектов кафедры (**MyJars**), отдельный файл собственного проекта (**BRScore**) (группа 3).

### Оценка собранных данных

Уже внешний вид гистограмм распределения значений метрики MCS, выбранной в качестве образца, позволяет судить о качественной разнице собранных данных для наборов разных групп (рис.3-5)

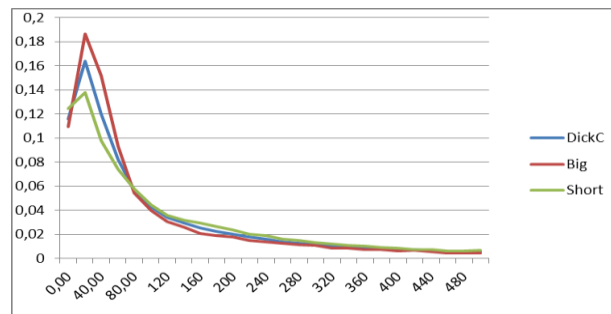


Рис. 3. Распределение метрики MCS для наборов группы 1

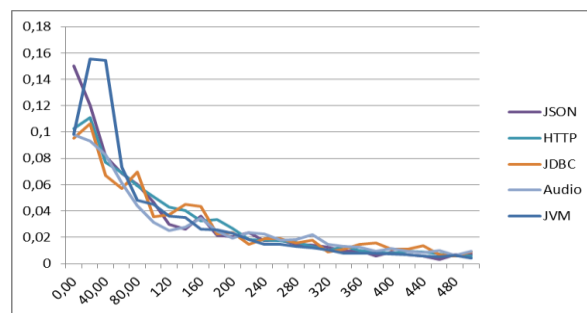


Рис. 4. Распределение метрики MCS для наборов группы 2

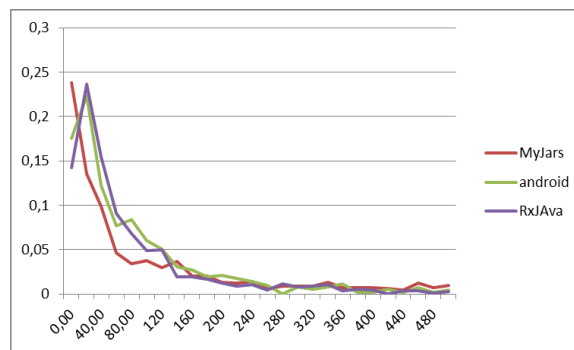


Рис. 5. Распределение метрики MCS для наборов группы 3

Определение соответствия выборки закону распределения является задачей *статистической проверки гипотезы* об ее принадлежности этому

распределению. Для решения этой и подобных задач использовался пакет статистического анализа EasyFit [8].

Поскольку вид большинства распределений выглядит как обратно экспоненциальный, «хвост» распределения создает статистический «шум» на малых частотах появления соответствующих значений метрики. Действующий диапазон значений метрики (рис.6) сокращается до размера, при котором значение критерия оценки достоверности превышает теоретическое значение для выбранного уровня значимости ( $U_3$ ) гипотезы  $\alpha$ , т.е. закон устойчиво определяется. В нашем случае используется наиболее распространенный критерий Колмогорова-Смирнова.

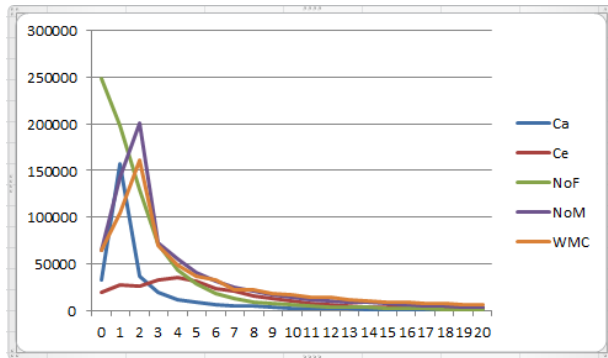


Рис. 6. Распределения метрик в диапазоне 0...20

В то же время сокращение диапазона увеличивает погрешность определения параметров распределения. В Таблице 2 для метрики NoM показано, как параметр экспоненциального распределения  $\lambda$  зависит от изменения диапазона.

Табл. 2. Оценка диапазона анализируемых значений метрики NoM

$\lambda$	0,342	0,251	0,217	0,199	0,186
Критерий*	0,196	0,148	0,018	0,193	<b>0,204</b>
P-Value	0,756	0,695	0,243	0,077	0,02
Отвергнуто	-	-	-	-	+
Критерий**	0,391	0,287	0,234	0,205	<b>0,187</b>
Диапазон	11	21	31	41	51

Критерий\* - расчетное значение критической статистики для критерия Колмогорова-Смирнова

Критерий\*\* - теоретическое значение критической статистики при  $U_3 = 0,05$

Имеет место естественная граница диапазона значений метрики, учитываемых в законе распределения. Она связана с условием принятия гипотезы – значение критерия не превышает критическое значение, установленное для выбранного уровня значимости.

Хотя большинство метрик имеют целочисленные значения, законы распределения определяются для непрерывных случайных величин ввиду разнообразия последних.

В таблице 3 приведены результаты определения пакетом EasyFit законов распределения для различных наборов для статистических данных метрики MCS – количество команд байт-кода в методе.

Законы распределения для метрики MCS

Табл. 3.

Метрика MCS	DiskC	Big	Short	JSO N	JVM	HTT P	Audi o	JDB C	MyJar s	Androi d	RxJav a	BRSCor e
$\mu$ статистики	364	337	364	389	443	427	<b>840</b>	548	327	<b>106</b>	142	546
$\sigma$ статистики	1856	2035	1333	1170	2932	1570	<b>3541</b>	1385	856	<b>166</b>	342	1340
Классов (NC)	80652	31320	28636	7532	2638	6171	1723	2666	843	985	931	103
Log10(NC)	5,91	5,50	5,46	3,88	4,42	3,79	3,24	3,43	2,93	2,99	2,97	2,01
Критерий*	0,037	0,036	0,036	0,036	0,059	0,032	0,037	0,041	0,115	0,038	0,051	0,070
P-Value	0,993	0,995	0,994	0,995	0,752	0,999	0,993	0,986	0,067	0,997	0,846	0,904
Критерий**	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,134	0,116	0,170
Распределение	1	1	2	2	1	3	2	3	4	2	1	4
$\sigma$	1,14	1,08	1,20	1,17	1,06	1,15	<b>1,16</b>	1,13	1,13	<b>1,15</b>	1,12	1,14
$\mu$	4,15	4,09	4,21	4,26	4,22	4,36	<b>4,5</b>	4,49	4,26	<b>3,97</b>	4,01	4,28
Jar-файлов	3356	53	3082	132	64	51	<b>46</b>	291	3	<b>1</b>	1	1

Распределение: 1-логнормальное, 2-Джонсона, 3-экспоненциальное, 4-Парето

На Рис. 7 изображены зависимости значения критерия от размерности выборки - значений метрики в наборе (количества классов, для которых определено MCS). Ось X –десятичный порядок размерности выборки.

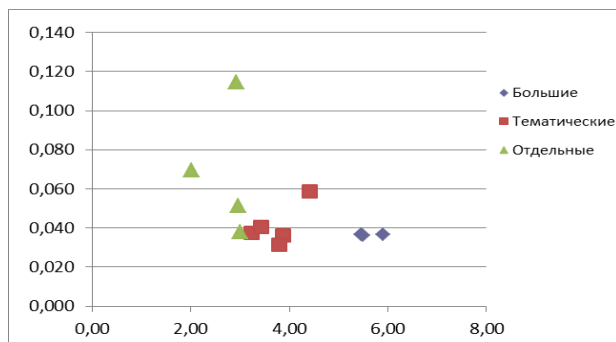


Рис. 7. Значение критерия Колмогорова-Смирнова в зависимости от порядка выборки

Большинство наборов, в том числе состоящих из отдельных жаг-файлов, позволяют «установить» закон распределения с учетом вероятностного характера проводимой процедуры. Значения критерия лежат в узком диапазоне для всех наборов групп 1 и 2.

В то же время основные параметры статистики (среднее и среднеквадратичное отклонение) меняются в широких пределах на различных наборах (рис.8). Одновременно меняются и параметры закона распределения. ( $\sigma$  и  $\mu$  для логнормального распределения – в табл. 3). Между теми и другими наблюдается естественная корреляция.

«Выбросы» параметров для тематических выборок и отдельных жаг-файлов вполне могут быть объяснены спецификой предметной области. Например, малое среднее MCS для Android и RxJava – преобладанием коротких методов при высоком уровне модульности и абстрагирования в коде, а значительное среднее в Audio – наличием объемных методов обработки аудио-данных.

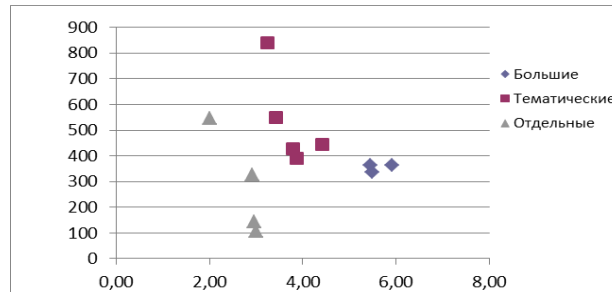


Рис. 8. Среднее значение метрики MCS на различных наборах

Таким образом, только наборы группы 1 могут быть использованы в качестве статистического материала для получения статистических параметров и законов распределения метрик байт-кода. Размерность исходных данных должна быть не менее  $10^5$  классов.

#### Законы распределения метрик

Как было показано, статистический анализ метрик проводится на выборке группы 1 (DiskC). Данные анализа метрик приведены в таблице 3.

#### Итоговые параметры оценки законов распределения для различных метрик

Метрика	MCS	WMC	CBO	DIT	NoC	NoF	NoM	I	NoFM	Ce	Ca	JNoC	JCS	JFS
Критерий*	0,03 7	0,128	0,07	0,26 2	0,06 9	0,24 0	0,14 8	0,12 0	0,084	0,08 1	0,02 4	0,047	0,069	0,041
P-Value	0,99 3	0,839	0,94	0,21 5	0,99 9	0,15 1	0,69 5	0,41 8	0,996	0,99 7	0,13 0	0,973	0,984	0,999
Критерий**	0,12 1	0,287	0,19	0,33 8	0,28 7	0,28 7	0,28 7	0,18 7	0,287	0,28 7	0,28	0,134	0,21	0,154
Распределение	4	2	4	3	7	3	6	1	2	5	3	6	5	2
Ячеек гистограммы	126	21	51	15	21	21	21	51	21	21	22	100	40	75
Шаг выборки	4	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	400	2000
Диапазон	504	21	51	15	21	21	21	1,02	21	21	22	100	1600 0	2E+0 5
Ранг распределения	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1	2	1	3

Распределение: 1-бета,2-гамма,3-Гумбеля,4-логнормальное,5-Джонсона,6-экспоненциальное,7-степенное

Результаты можно сгруппировать следующим образом. К первой группе относится большая часть метрик (MCS,WMC,CBO,NoM, NoFM, Ce,Ca,JFS), которая имеет характерный вид кривой распределения (Рис. 9).

Для большинства метрик характер такого распределения легко объяснить. Например, для суммарной цикломатической сложности (рис.10) первый отсчет соответствует часто встречающимся классам (интерфейсам) с пустыми методами, классы с линейным кодом в

методах также встречаются часто и имеют малые значения метрики

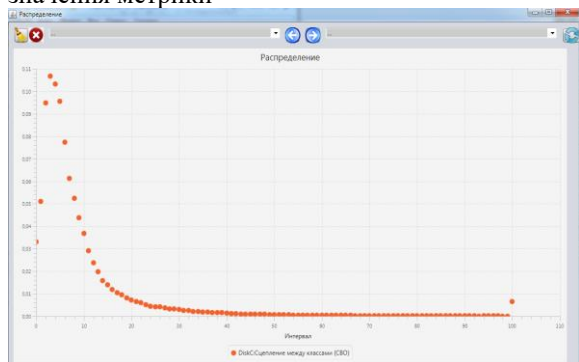


Рис. 9. Вид эмпирической кривой распределения первой группы (CBO)

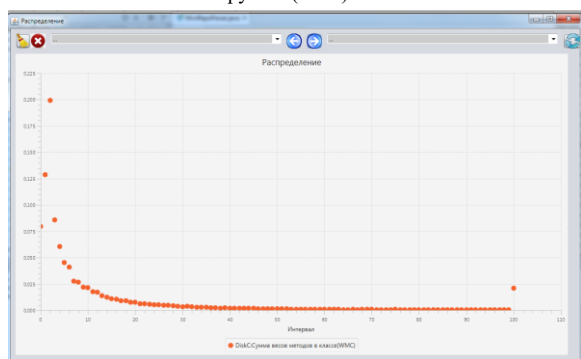


Рис. 10. Статистика метрики – суммарная сложность кода класса (WMC)

Характерный убывающий вид графика соответствует общим принципам модульного программирования и ООП – преимущественное использование «коротких» и простых сущностей (классов, методов) перед сложными и объемными. В данном случае статистика подтверждает, что разработчики в своей основной массе следуют этому правилу.

Вторая группа метрик (DIT, JCS, JNoC, NoC, NoF) отличается отсутствием подъема в начальной точке кривой распределения (NoF на рис.11). Для указанной метрики это обусловлено большим количеством классов без данных – интерфейсов, классов со статическими методами, а также классов с минимальным количеством данных (полей).

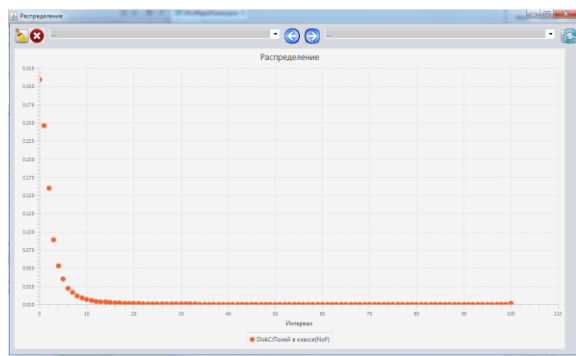


Рис. 11. Статистика метрики – количество полей в классе» (NoF)

Статистика метрики «нестабильность» имеет особый вид распределения (рис.12) объясняется тем, что метрика вычисляется как  $I = C_e / (C_a + C_e)$ , что при большой частоте малых значений  $C_a$  и  $C_e$  дает выбросы на значениях 0.25, 0.33, 0.4, 0.5 и т.п.

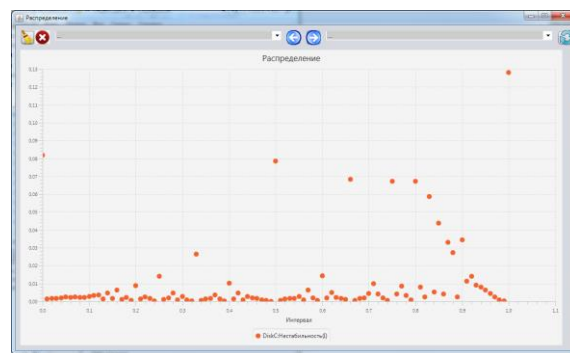


Рис. 12. Статистика метрики – нестабильность (I)

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОЕКТА

Статистические данные для оценки состояния проекта нельзя использовать формально, необходим содержательный анализ специфики проекта. Это объясняется самой природой метрик программного кода: сами по себе значения метрик не являются показателем качества проекта. Наличие достоверной статистики дает дополнительные основания для интерпретации и оценки результатов измерений. Возможно несколько типовых вариантов оценки расхождения метрик и статистики:

- отклонение отдельных метрик может объясняться спецификой проекта, это объяснение найдено и правдоподобно;
- массовое отклонение метрик может свидетельствовать о низком качестве проекта, отклонение отдельных метрик могут быть оценены как отступление от принципов технологии ООП;
- отклонение отдельных метрик обусловлено самой природой статистического анализа и не является показателем качества проекта.

Рассмотрим несколько вариантов анализа конкретных проектов (jar-файлов). Сравнение будем производить по основным параметрам статистик (МО, СКО) метрик проекта и выборки большого объема DiscC. Значения метрик анализируемого проекта нормированы к соответствующим значениям метрик в выборке. Для нормированных значений используются те же самые аббревиатуры, что и для исходных метрик.

### Пример анализа. Библиотека ядра системы учета рейтинга успеваемости BRSCore

Библиотека (собственный проект кафедры) содержит общий программный код клиент-серверных приложений для системы учета рейтинга успеваемости– уровни доступа к данным, бизнес-уровень, коммуникации, контроллер представлений (экранных форм). Нормированные метрики проекта (рис.13) имеют



МО в пределах 0.5-1.5 от статистических, что требует объяснения.

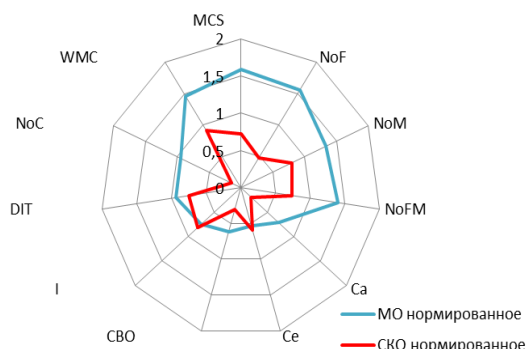


Рис. 13. Нормированные метрики проекта библиотеки BRSCore

Значительные превышение нормированных значений длины кода метода ( $MCS = 1.58$ ), суммарной сложности методов классов ( $WMC = 1.46$ ), количества полей ( $NoF = 1.56$ ) и методов ( $NoM = 1.33$ ) свидетельствуют о нестрогом соблюдении принципов ООП («раздутые» классы, отсутствие необходимых абстракций). Этим же могут объясняться заниженные значения сцепления ( $Ca$ ,  $Ce$ ,  $CBO$ ) – методы классов «самодостаточны», каждый использует собственные средства.

#### Пример анализа. Библиотека реактивного программирования ReCore

Библиотека среды реактивного программирования ReCore (собственный проект кафедры) не содержит элементов интерфейса пользователя, реализует большой набор внутренних абстракций (реактивные типы данных, классы), каждая абстракция имеет достаточно большое количество реализаций-наследников. Библиотека имеет размерность 0.4 от среднестатистической. Нормированные метрики проекта (Рис. 14) имеют МО в пределах 0.8-1.2 от статистических, что свидетельствует об отсутствии каких-то явных пороков.

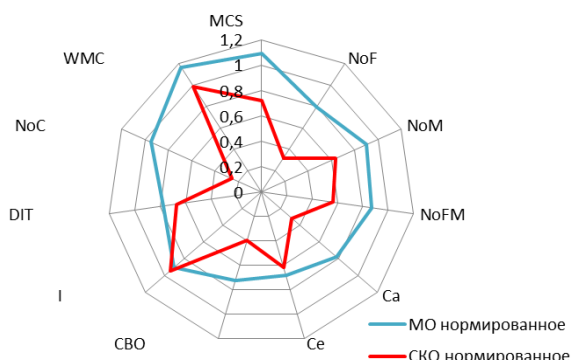


Рис. 14. Нормированные метрики проекта ReCore

Для отклонений нормированного SKO проекта можно найти разумные объяснения, связанные с особенностями проекта:

- $NoF = 0.3$  – однородность классов по количеству полей;

- $NoC = 0.25$  – однородность по количеству наследников, однотипность вариантов наследования;
- $CBO = 0.4$  – однородность по связям между классами;
- $Ca = 0.3$  – однородность по использованию различных пакетов проекта сторонними классам.

Возможно, в проекте имеет место повторяемость идентичных схем или групп классов, которые снижают разброс статистических данных.

#### Пример анализа. Библиотека среды исполнения программ в Android

Библиотека Android представляет собой библиотеку окружения (среды исполнения), в которой работает Java-программа в ОС Android. Фактически она реализует всю специфику среды функционирования программ в Android, ниже ее расположены библиотеки Linux и сам Linux. Библиотека имеет размерность кода, сопоставимую со среднестатистической, но значительное количество классов (730 против 235 в среднем). Вид нормированных метрик (Рис. 15) показывает, что они сильно отличаются от статистических.

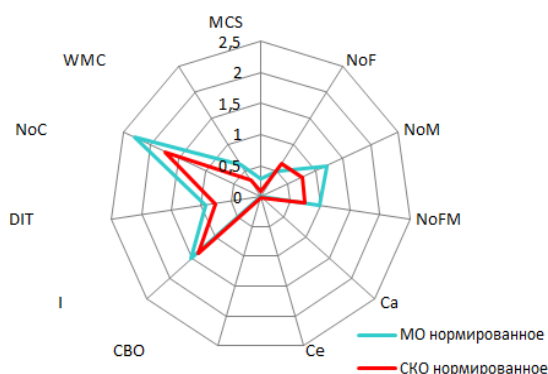


Рис. 15. Нормированные метрики библиотеки Android

Библиотека имеет очень низкие нормированные значения сцепления ( $Ca = 0.006$ ,  $Ce = 0.004$ ,  $CBO = 0.005$ ), что объясняется высокой автономностью компонент и отсутствием прямых связей между классами из разных пакетов. Каждый пакет (категория) представляет собой отдельный сервис и самой библиотекой не используется.

Значительное количество потомков ( $NoC = 1.75$ ) указывает на «популярность» использования базовых классов и абстракций, а малые значения нормированной длины метода ( $MCS = 0.08$ ) и взвешенной сложности класса ( $WMC = 0.3$ ) – об исключительном использовании коротких методов с простой логикой.

#### Пример анализа. Стандартная среда реактивного программирования RxJava

Среда реактивного программирования [7] предлагает средства для организации событийного управления на основе подписки на события и широко используется как средство организации

программы на Java, в том числе взаимодействия внешних форм (графического интерфейса). Библиотека среднего размера – около 1 Мб. Вид нормированных метрик (Рис. 16) показывает, что некоторые из них значительно отличаются от статистических.

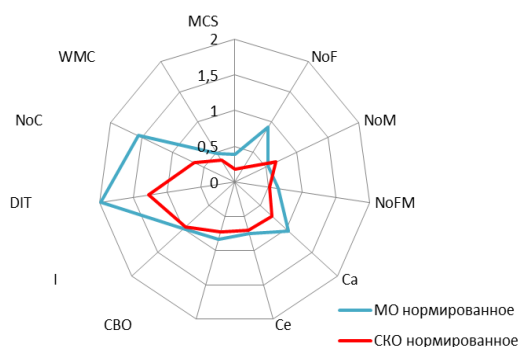


Рис. 16. Нормированные метрики библиотеки RxJava

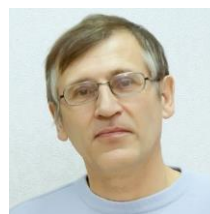
Значительная глубина дерева наследования (DIT = 2), количество наследников (NoC = 1.55), малая длина методов (MCS = 0.4) и низкая суммарная сложность (WMC = 0.47) характеризуют разработку как исключительно модульную, с высоким уровнем наследования. Это согласуется с тем, библиотека поддерживает специфическую парадигму программирования, для которой необходимо создавать значительное количество абстракций и развивать их.

## ВЫВОДЫ

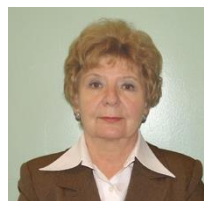
Проведенные измерения и анализ их результатов показал, что многообразие окружающего нас программного кода может быть описано в том числе и средствами статистики через метрические характеристики этого кода. Статистика большинства метрик соответствует ограниченному числу законов распределения, гипотезы соответствия подтверждаются уже на тематических выборках порядка сотен jar-файлов и тысяч классов. Полученные данные могут быть использованы для экспертной оценки качества программных проектов на основе сопоставления их метрик с имеющейся статистикой.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Облачный сервис CodeNforcer <http://cloud.codenforcer.com>.
- [2] SonarQube: The leading product for continuous code quality <https://www.sonarqube.org/>.
- [3] NetBeans: SourceCodeMetrics - plugin detail <http://plugins.netbeans.org/plugin/42970/sourcecodemetrics>.
- [4] Boehm Barry, et al. «Software cost estimation with COCOMO II». Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 2000
- [5] Maven Repository <http://mvnrepository.com/repos>
- [6] EasyFit – Distribution Fitting Made Easy <http://www.mathwave.com/>.
- [7] RxJava – Reactive Extensions for the JVM – a library for composing asynchronous and event-based programs using observable sequences for the Java VM <https://github.com/ReactiveX/RxJava>.
- [8] Васильев Н.Е. Исследование и разработка системы анализа метрик программного кода. Дни науки НГТУ–2017: материалы научной студенческой конференции. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. С. 23-25.
- [9] ASM: A Java bytecode engineering library <http://asm.ow2.io/>.



**Евгений Леонидович Романов**,  
доцент, к.т.н., доцент кафедры  
вычислительной техники НГТУ.  
E-mail: [romanov@corp.nstu.ru](mailto:romanov@corp.nstu.ru)



**Лариса Александровна  
Коршикова**, доцент, к.т.н., доцент  
кафедры вычислительной техники  
НГТУ.  
E-mail: [lk@vt.cs.nstu.ru](mailto:lk@vt.cs.nstu.ru)

Статья поступила в редакцию 13 сентября 2018 г.

## Statistical Analysis of Program Code Metrics

*E.L. Romanov, L.A. Korshikova*

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia. 630090, K. Marx, 20.*

**Abstract** - The use of program code metrics in the management of software engineering processes is difficult due to the lack of relevant industry statistics. A program for collecting and analyzing bytecode metrics is described, which allows downloading thematic samples of jar files from the maven repository, calculating the basic parameters, and visualizing histograms for the distribution of bytecode metrics. Using the program and standard statistical analysis tools, the statistics of 11 metrics of object-oriented code were analyzed on different samples of jar-files. The volumetric indexes of the sample are determined, on which the statistical reliability of the obtained distribution laws is ensured. The distribution laws and the basic statistical parameters of metrics are determined. Examples of expert evaluation of the code of a software project based on the analysis of metrics normalized to the statistical values obtained are given.

**Key words** - Java, bytecode, program code metrics, repository, statistics, distribution law, reliability, industry statistics, expert evaluation of project quality.

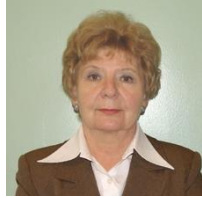
## REFERENCES

- [1] Cloud service CodeNforcer <http://cloud.codenforcer.com>.
- [2] SonarQube: The leading product for continuous code quality <https://www.sonarqube.org/>.

- [3] NetBeans: SourceCodeMetrics - plugin detail <http://plugins.netbeans.org/plugin/42970/sourcecodemetrics>.
- [4] Boehm Barry, et al. «Software cost estimation with COCOMO II». Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 2000
- [5] Maven Repository <http://mvnrepository.com/repos>
- [6] EasyFit – Distribution Fitting Made Easy <http://www.mathwave.com/>.
- [7] RxJava – Reactive Extensions for the JVM – a library for composing asynchronous and event-based programs using observable sequences for the Java VM <https://github.com/ReactiveX/RxJava>.
- [8] Vasilyev N.E. Research and development of a system for analyzing program code metrics. Days of Science of the NSTU-2017: materials of a scientific student conference. Novosibirsk: Publishing house of the NSTU, 2017. S. 23-25.
- [9] ASM: A Java bytecode engineering library <http://asm.ow2.io/>.



**Evgeny Leonidovich Romanov**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Computer Science Department of the NSTU.  
E-mail: [romanov@corp.nstu.ru](mailto:romanov@corp.nstu.ru)



**Larisa A. Korshikova**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Computer Science Department of the NSTU.  
E-mail: [lk@vt.cs.nstu.ru](mailto:lk@vt.cs.nstu.ru)

The article was received on September 13, 2018.

**III. Инновационные технологии.  
Перспективные технологии.  
Моделирование систем.  
Численная оптимизация.**

**Содержание раздела:**

- ◇ V. Zhmud, L. Dimitrov, J. Nosek. The History of the Application of Incomplete Integration for the Control of Laser Systems. Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia. Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria. Technical University, Liberec, Czech Republic. Автоматика и программная инженерия. 2018. №3 (25). С. 48–52.

# The History of the Application of Incomplete Integration for the Control of Laser Systems

V. Zhmud<sup>1</sup>, L. Dimitrov<sup>2</sup>, J. Nosek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria

<sup>3</sup>Technical University, Liberec, Czech Republic

*Abstract:* The present paper explores the possibility of achieving a commensurate or better result by a simpler controller in comparison with the well-known sophisticated methods of synthesizing  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -regulators. It is shown that these regulators are more complex than the well-known and successfully used PID-regulators. The possibility of achieving better results in an easier manner is demonstrated. The requirements for an ideal linear automatic control system in the form of an ideal amplitude-frequency characteristic are justified. The methods of designing such regulators are given and examples showing their advantage are presented.

*Key words:* PID-regulator, feedback, control, automatics, dynamic error, static error, numerical optimization

## INTRODUCTION

In this paper, we discuss some specific issues in the design of regulators for automatic systems. The presentation is based on modeling results in software *VisSim* [17], which has several versions. In the case where it does not matter, the version number, we will use the name of this software without specifying this number; in other cases, the version number is indicated at the end of the name, for example, *VisSim 5.0*.

The software complex *Simulink + MATLAB* (along with the set of packages for their expansion *Toolbox* and *Blockset*), as V. Dyakonov rightly notes [17], proved too cumbersome for such relatively simple applications as modeling and optimization of regulators. This package takes up a noticeably large amount of memory, an excessively large library of blocks, most of which are unnecessarily specialized and are not required in most of the tasks to be solved; the created files also occupy a fairly large amount of memory, in total this amounts to several gigabytes. For this reason, there has recently been a sharp increase in interest in a small-scale but sufficient universal system of block imitation visual-oriented mathematical modeling, such as *VisSim*. This software has been created by the corporation *Visual Solution Inc. (USA)*. The main developer of the software and the Head of the corporation is *Peter Darnell*. Along with the system itself, a number of packages for its expansion have been released, significantly increasing the already tangible capabilities of this system.

This “pearl” in the world of mathematical modeling programs has long attracted the interest of specialists in the field of mathematical

modeling. For example, the corporation *MathSoft*, the creator of the famous and most popular computer mathematics *Mathcad*, not only ensured the docking of this system with the *VisSim*, but also began to supply *VisSim* with some versions of the *Mathcad* package [17]. The *VisSim* version can also be integrated with the *Simulink + MATLAB* system [17].

A major contribution to the distribution of the *VisSim* was made by the site [www.vissim.nm.ru](http://www.vissim.nm.ru), created under the direction of N. Klimachev from the South Ural University, some versions of this program, for example, *VisSim 3.0*, are distributed free of charge, later versions can be used within 60 days for free, these versions can be obtained from the website [www.vissim.com](http://www.vissim.com) [17].

## I. FRACTIONAL-POWER PID-REGULATORS

The control of dynamic objects in a locked loop is applied in all branches of science and technology, with the most common regulators containing a proportional, integrating and derivative link, called PID-regulators. Many authors attempted to modify the structure of PID-regulators in terms of novelty, based on the best efficiency. One of these directions is to use a non-integer exponent in the differential equation of the regulator, which corresponds to incomplete integration and (or) differentiation [1–15].

The essence of the so-called regulator with a fractional order of integration and (or) derivation ( $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -regulator, fractional-power regulators) consists in two steps: a) it is asserted and shown by examples that the use of a non-integral degree of integration and (or) derivation gives a positive effect (at least in a number of tasks); b) it is asserted that within the framework of a preassigned accuracy, the regulator of the previous point can be



implemented in a structure using only a whole degree of integration and derivation. Recommendations for such an approximation are given.

Such a decision makes the solution of a number of issues relevant.

1. The more complex regulator, the more complex approximation. Therefore, a question arises – what is the limit in accuracy error or in other words, what is the required complexity of a regulator?

2. How valid are the conclusions from the comparison of the efficiency of complex regulator structures with the efficiency of PID-regulators? It may turn out that the numerical optimization of the parameters of these complex structures provides better regulators than a method based on the approximate implementation of fractional-power regulators.

3. Is it possible to simplify these complex structures based not on the criterion of a small approximation error but based on the criterion for achieving the goals of the regulator' design?

The regulators proposed up to now contain complex structures and the number of numerical parameters in them varies from 6 to 12 or even more. In comparison, PID-regulators contain only three numerical parameters. If the introduction of additional structures with new parameters lead to the better quality control, then there are reasons to assume that a sequential increasing in the number of PID-regulator parameters from 3 to 6 (in some structures) may gradually increase the quality of the regulator and expand its capabilities when moving from a three-parameter regulator to a regulator, for example, with ten parameters.

## 2. FORMATION OF THE PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup>-REGULATOR

The PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup>-regulator is proposed to be designed in the form of approximation by a rational transfer function [3–4], viz.

$$C(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s^\lambda} + T_D s^\mu \right), \quad (1)$$

where  $K_P$  is the coefficient of proportional tract,  $T_I$  is the parameter of integration link,  $T_D$  is the coefficient of derivation link,  $\lambda$  is the order of integrator, such that  $0 < \lambda < 1$ ,  $\mu$  is the order of the differentiator, such that  $s$  is the argument in the Laplace transform or the symbolic record of the derivation operation in the case of using differential equations. The parameters of the regulator  $K_P$ ,  $T_I$  and  $T_D$  in [5] are proposed to be determined using the Ziegler-Nichols method [4]. This choice is clearly not optimal, since this method is not the most effective for achieving the best quality control.

The integration path of the PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup>-regulator is described in the frequency region by the following transfer function:

$$C_I(s) = \frac{1}{s^\lambda}, \quad (2)$$

In the frequency range  $[\omega_L, \omega_H]$ , the fractional-power integrator can be modeled by a function as follows:

$$C_I(s) = \frac{K_I}{\left( 1 + \frac{s}{\omega_C} \right)^\lambda}, \quad (3)$$

at large frequencies the unit in the denominator of the equation (3) can be neglected and we have:

$$C_I(s) = \frac{K_I}{\left( \frac{s}{\omega_C} \right)^\lambda} = \frac{1}{s^\lambda}, \quad (4)$$

$K_I = (1/\omega_c)^\lambda$  and  $\omega_c$  is the cutoff angular frequency, therefore  $\omega_c = 0.1\omega_L$ .

It is further assumed in [5] that the fractional-power integrator (4) is approximated in the frequency range  $[\omega_L, \omega_H]$  by a rational function in the following form:

$$C_I(s) = \frac{1}{s^\lambda} \approx K_I \frac{\prod_{i=0}^{N-1} (1 + s/z_i)}{\prod_{i=0}^N (1 + s/p_i)}. \quad (5)$$

A method for calculation of the approximation parameters is proposed in [5].

The technique described above for the application of an operational amplifier with a multi-link RC-chain in the feedback is used in the system for stabilizing the frequency of lasers by the resonance of unsaturated absorption. This scheme allows the realization of an incomplete integrating amplifier on one operational amplifier [16]. In this chain, as the sequence number of the resistor and capacitor increase, its value increases a certain number of times. The transfer function  $W(\omega)$  of such a link is a product of functions of the form:

$$W(\omega) = \prod_{i=1}^n W_i = \prod_{i=1}^n \frac{T_{2i+1}P + 1}{T_{2i}P + 1}.$$

Here  $T_{i-1} < T_i < T_{i+1}$ .

Fig. 1 shows the scheme of an incomplete integrating amplifier with an average slope of – 10 dB / dec. Such an amplifier is also called a semi-integrator. If instead of a resistor at the input we use

a capacitor, we get an amplifier that realizes incomplete derivation.

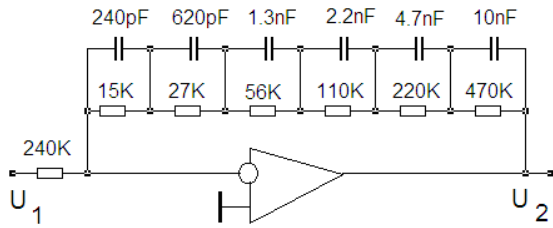


Fig. 1. An amplifier realizing incomplete integration with an average slope of  $-10 \text{ dB/dec}$

With a sufficiently large number of such links, integration alternates with derivation and is blurred in frequency, which gives the average almost constant slope of the logarithmic amplitude-frequency characteristic (LAFC), which is not a multiple of  $-20 \text{ dB/dec}$ . Such an integrator in the region of a non-multiple slope has an almost constant phase shift over a sufficiently extended (several decades) section. Fig. 2 shows the experimental dependences of the phase characteristics of such an amplifier in various ratios of the parameters of passive elements. Depending on the ratios of the progression of active and reactive elements ( $K_1 = R_i / R_{i+1}$  and  $K_2 = C_i / C_{i+1}$ ), an arbitrary value of the slope can be realized in the range from 0 to  $-20 \text{ dB/dec}$  and the associated magnitude of the phase delay.

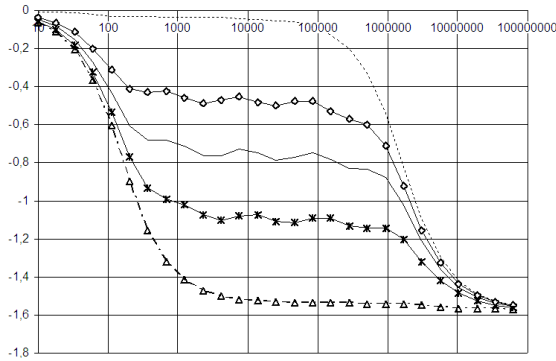


Fig. 2. Phase characteristics of the incomplete integrator for various ratios  $T_2 / T_1$  (in order from top to bottom):  $-9.5; -5; -3.3; -2; -1.05$  ( $T_i / T_{i-1} = 10, i = 2, \dots 9$ )

The use of incomplete integration in systems with distributed parameters (for example, in systems of thermal stabilization) makes it possible to compensate for undesirable non-standard characteristics of the object. The object in a system of thermal stabilization, as a rule, is not stationary and is characterized by a non-multiple slope generated by the spreading of heat in the physical volume. To optimize the dynamic properties of the system, it may be advisable to perform incomplete integration, which on the one hand, filters out the high-frequency part, but, on the other hand, does not bring the phase shift to a critical value in the vicinity of a single AFC value.

Since the method makes it possible to synthesize LAFC with an arbitrary value of the phase shift, the distributed LAFC parameters of the source object are not a problem, because the phase response can be approximated to an arbitrary desired form in the required region.

The method of obtaining a flat phase-response section with non-stationary gain gives the following advantages:

1. If the phase characteristic over an extended section is constant, then the change in the coefficient affects only the speed of the locked system, but does not change the stability margin. The quality of the transient process remains invariant to the gain.

2. If the phase margin is adjusted to the value corresponding to the maximum permissible overshoot, and the gain is changed, the system becomes optimal in response to the specified criterion.

3. If the phase characteristic of the original object has some form, then it can be transformed into the desired one by adding incomplete integration or derivation.

Fig. 3 shows the experimentally obtained amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the amplifier from Fig. 1, depending on the ratio of the time constants. Fig. 4 shows the experimental dependence of the phase delay of such an amplifier on the ratio of the time constants.

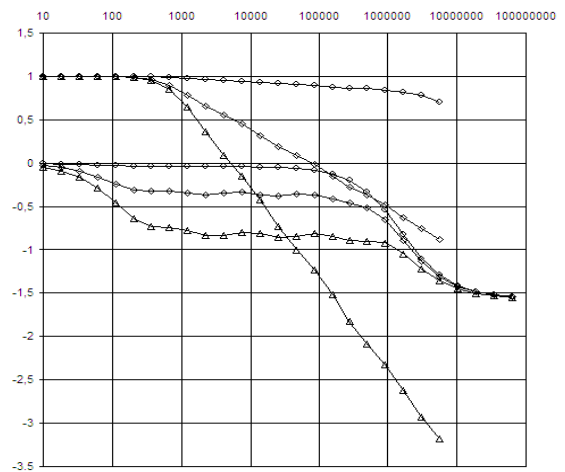


Fig. 3. LAFC and LPFC for  $T_2 / T_1 = 9.5; 6$  and  $3.3$

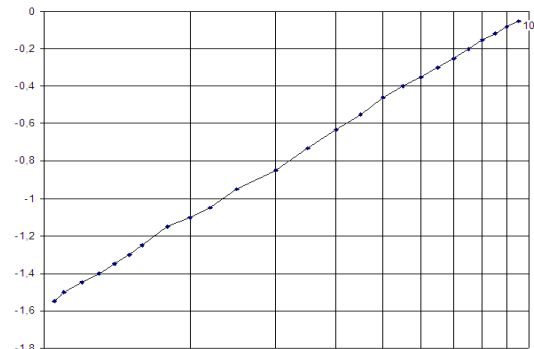


Fig. 4. Dependence of the phase delay of the link with incomplete integration on the ratio of the integration time constants  $T_{2i}$  and the differentiation  $T_{2i+1}$

This technique is used in systems for stabilizing the frequency and phase of lasers with the following effect. The slope of the logarithmic amplitude-frequency characteristic of the open control loop in a sufficiently large interval is  $-30 \text{ dB/dec}$ . This is in absolute magnitude greater than a single slope but less than a double slope. Therefore, the increase in the loop gain in the direction of low frequencies occurs more sharply than in the first-order system, but less sharply than in the second-order system. This makes it possible to more effectively suppress interference in the mid and low frequency range than is achieved in first order systems. The system has a greater stability margin than a second-order system. Thus, the advantages of a system of the first and second order are combined [16].

## CONCLUSION

Simulation and numerical optimization has demonstrated that simpler regulators can be designed by the method of numerical optimization with software *VisSim*. It provides better accuracy and better transient processes (and therefore better dynamic accuracy) than the regulators proposed in paper [4]. As a result, both the simplification of the regulator and its improvement have been achieved.

## REFERENCES

- [1] *Chen, Y.Q., Vinagre, B.M. and Monje, C.A.* A Proposition for the Implementation of Non-integer PI Controllers. The Thematic Action 'Systems with Non-integer Derivations' LAP-ENSEIRB, Bordeaux, France, 2003.
- [2] *Leu, J.F., Tsay, S.Y. and Hwang, C.* Design of Optimal Fractional Order PID Controllers. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers 33:2, 2002.
- [3] *Podlubny, I.* Fractional Order Systems and  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers. IEEE Transactions on Automatic Control 44:1, 1999, pp. 208-214.
- [4] *Bettoua, K. and Charef, A.* Control quality enhancement using fractional  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller. International Journal of Systems Science Vol. 40, No. 8, 2009, pp. 875-888.
- [5] *Ziegler, J.G and Nichols, N.B.* Optimum Settings for Automatic Controllers. Transactions of the ASME 64, 1942, pp. 759-768.
- [6] *A.N. Zavoryn, O.D. Yadryshnikov, V.A. Zhmud.* Improvement of quality characteristics of control systems with feedback when using  $PI^2D^2$ -controller. Collection of scientific works of NSTU. Novosibirsk. 2010. 4 (62). P.41 – 50 (In Russian, original name: *Заворин А.Н., Ядрышников О.Д., Жмудь В.А.* Усовершенствование качественных характеристик систем управления с обратной связью при использовании  $PI^2D^2$ -регулятора. Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск. 2010. 4 (62). С.41 – 50).
- [7] *Voevoda A.A., Zhmud V.A., Zavoryn A.N. and Yadryshnikov O.D.* Comparative analysis of optimization methods for regulators using VisSim and MATLAB software. Mechatronics, automation and control. № 9, 2012. p. 37–43 (In Russian, original name: *Воевода А.А., Жмудь В.А., А.Н.* *Заворин, О.Д. Ядрышников.* Сравнительный анализ методов оптимизации регуляторов с использованием программных средств VisSim и MATLAB. Мехатроника, автоматизация и управление. № 9, 2012. с. 37–43).
- [8] *Poller B.V., Zhmud V.A., Novitsky S. P., Zavorin A. N and Yadryshnikov O.D.* Synthesis of a robust regulator by the method of double iterative parallel numerical optimization. Scientific bulletin of the NSTU. 2012. № 2. P. 196–200 (In Russian, original name: *Поллер Б. В., Жмудь В. А., Новицкий С. П., Заворин А. Н., Ядрышников О. Д.* Синтез робастного регулятора методом двойной итеративной параллельной численной оптимизации. Научный вестник НГТУ. 2012. № 2. С 196–200).
- [9] *Zhmud V.A., Zavorin A.N., Polischuk A.V., and Yadryshnikov O.D.* The method of designing adaptive systems for the control of non-stationary objects with delay. Scientific bulletin of the NSTU. 2012. № 3. P. 172–177 (In Russian, original name: *Жмудь В. А., Заворин А.Н., Полищук А.В., Ядрышников О. Д.* Метод проектирования адаптивных систем для управления нестационарными объектами с запаздыванием. Научный вестник НГТУ. 2012. №3. С. 172–177).
- [10] *Chen, Y.Q., Vinagre, B.M. and Monje, C.A.* A Proposition for the Implementation of Non-integer PI Controllers. The Thematic Action 'Systems with Non-integer Derivations' LAP-ENSEIRB, Bordeaux, France, 2003.
- [11] *Leu, J.F., Tsay, S.Y. and Hwang, C.* Design of Optimal Fractional Order PID Controllers. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers 33:2, 2002.
- [12] *Podlubny, I.* Fractional Order Systems and  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers. IEEE Transactions on Automatic Control 44:1, 1999, pp. 208-214.
- [13] *Bettoua, K. and Charef, A.* Control quality enhancement using fractional  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller. International Journal of Systems Science Vol. 40, No. 8, 2009, pp. 875-888.
- [14] *V. Zhmud, A. Zavorin.* Fractional PID-Controllers and Ways to Simplify Them with Increased Efficiency of Control. Automatics & Software Enginry. 2013. № 1 (3). p. 30–36. URL: <http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/ASE-1-2013-5.pdf>
- [15] *Zhe Yan, Kai Li.* Tuning and application of fractional order PID controllers. Proceedings of 2-nd International Conference on Measurements, Information and Control (ICMIC-2013). Harbin. China. P. 955–958.
- [16] *Goldthordt V.G. and Ohm A.E.* Electronic block of frequency stabilization of lasers. PTE, 1980, P.190–193 (In Russian, original name: *В.Г. Гольдтордт, А.Э. Ом.* Электронный блок стабилизации частоты лазеров. ПТЭ, 1980, с.190–193).
- [17] *Dyakonov V.* VisSim+Mathcal+MATLAB. Visual mathematic modeling. Moscow. Solon-Press. 2004. (In Russian. Original name: *Дьяконов В.* VisSim+Mathcal+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. Москва. Солон-Пресс. 2004). ISBN 5-98003-130-8



Dr. of Techn. Sci. **Vadim ZHMUD.**

Didactic title: Full Professor.  
Affiliation: Novosibirsk State Technical University, Faculty of Automatics and Computer Techniques, Department of Automatics, Russia  
Scientific Fields: Adaptive and optimal control, Multi-channel control systems, Laser Physics, Robotics, Electronics  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)



Dr. of Techn. Sci. **Jaroslav NOSEK** - Professor of Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies in Technical University, Liberec, Czech Republic.

E-mail: [jaroslav.nosek@tul.cz](mailto:jaroslav.nosek@tul.cz)



Dr. of Techn. Sci. **Lubomir DIMITROV.**

Didactic title: Full Professor.  
Affiliation: Technical University of Sofia, Faculty of Mechanical Engineering, Bulgaria  
Scientific Fields: Mechatronics, Adaptive and optimal control, Intelligent diagnostic and control systems, MEMS.  
E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)

## **IV. Измерительные средства и системы. Идентификация. Телемеханика и телеметрия.**

### **Содержание раздела:**

- ◇ Ю.Е. Воскобойников, Д. А. Крысов. Оценивание характеристик шума измерения в модели «Сигнал+шум». Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия. ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 54–61.
- ◇ Г.П. Чикильдин, И.В. Маевский. Алгоритм определения частоты регуляризации в МНК идентификации импульсной и частотных характеристик. ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Россия. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 62–68.



# Оценивание характеристик шума измерения в модели «Сигнал+шум»

Ю.Е. Воскобойников<sup>1,2</sup>, Д. А. Крысов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет, просп. Карла Маркса, д.20, Новосибирск, Россия

*Аннотация* – При решении многих задач идентификации и управления в технических системах используемый сигнал представляет собой смесь «сигнал + шум». Возникает задача по наблюдаемым значениям этой смеси оценить числовые характеристики шумовой составляющей, знание которых необходимы для принятия соответствующих решений. В данной работе в качестве таких характеристик рассматриваются дисперсия шума и относительный уровень шума. Предлагаются оценки для этих числовых характеристик, существенно использующие коэффициенты дискретного преобразования Фурье смеси «сигнал+шум». Построенные оценки обобщаются на случай, когда смесь «шум+сигнал» является двумерным сигналом. Проведенный вычислительный эксперимент показал приемлемую точность этих оценок: относительная ошибка оценивания дисперсии не превосходила 3–5 %, а относительного уровня шума – 2%.

*Ключевые слова:* смесь «сигнал+шум», числовые характеристики шума, дискретное преобразование Фурье, оценка для дисперсии шума, оценка для относительного уровня шума, оценки характеристик двумерного шума.

## ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Стандартной ситуацией, возникающей во многих экспериментах, где используется та или другая измерительная система, является случай, когда регистрируемый (измеряемый, наблюдаемый и т. д.) сигнал представляет собой смесь полезного сигнала и шума измерения. Для описания такой ситуации можно привлечь аддитивную модель «сигнал+шум». Для правильного и эффективного применения алгоритмов обработки данных таких экспериментов необходимо знание либо дисперсии шума, либо относительного уровня шума.

Поясним это на примере непараметрической идентификации динамической системы. Наиболее часто в качестве математической модели используется интегральное уравнение Вольтера I рода с разностным ядром вида:

$$\int_0^t k(t-\tau)\varphi(\tau)d\tau = f(t), \quad (1)$$

где  $k(\tau)$  – импульсная переходная функция (ИПФ) динамической системы (ядро интегрального уравнения (1)),  $\varphi(\tau), f(t)$  – входной и выходной сигналы системы. Как известно, задача параметрической идентификации заключается в построении оценки для ИПФ системы по зарегистрированным значениям сигналов  $\varphi(\tau), f(t)$ . Эта задача относится к классу некорректно поставленных задач, когда могут нарушаться условия корректности по Адамару, в частности, появляется неустойчивость решения интегрального уравнения к погрешностям задания выходного сигнала  $f(t)$  [1, 2].

Для нахождения единственного и устойчивого решения задачи идентификации (т.е. решения уравнения (1) относительно функции  $k(\tau)$ ) используют различные методы регуляризации, как детерминированные, так и статистические [2,3]. Важным моментом при этом является выбор параметра регуляризации, который существенно влияет на величину ошибки идентификации. Для успешного выбора параметра регуляризации необходимо достаточно точно знать дисперсию шума измерения выходного сигнала. К сожалению, в большинстве случаев экспериментатор не может задать эту характеристику с требуемой точностью (обычно, не более 10-15%). Если дисперсия шума занижается, то шум измерения переходит в регуляризованное решение и вызывает значительную случайную ошибку (в решении появляются характерные осцилляции). Если дисперсию задается завышенной, то регуляризованное решение имеет большую систематическую ошибку (сглаживаются «тонкие» составляющие ИПФ). И в том и другом случае регуляризованное решение имеет значительную ошибку [3].

Задание дисперсий шума требуется также и при дифференцировании зашумленных экспериментальных данных с использованием сглаживающих сплайнов [3] или других аппроксимирующих функций для правильного выбора параметра сглаживания или других параметров применяемого сглаживающего алгоритма.

Знание относительного уровня шума измерений является важным моментом при выборе регуляризующего алгоритма непараметрической идентификации динамической системы. Было показано [5], что,

если уровень шума входного сигнала идентифицируемой системы меньше или равен уровню шума измерения выходного сигнала, то можно использовать регуляризирующий алгоритм, в котором при построении регуляризованного решения и выборе параметра регуляризации не учитывается шум измерения входного сигнала. В противном случае для повышения точности идентификации необходимо использовать более сложный регуляризирующий алгоритм, учитывающий этот шум измерения [6].

Все эти примеры показывают важность и актуальность задача оценивания приведенных характеристик шума в модели «сигнал+шум». Заметим, что в литературе этой задаче не уделяется должного внимания и отсутствуют алгоритмы, позволяющие с приемлемой точностью оценить эти числовые характеристики.

Поэтому в данной работе решается *задача построения статистических оценок для дисперсии шума и относительного уровня шума по дискретным измеренным значениям смеси «сигнал+шум»*.

### 1. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЯРНОГО ШУМА ИЗМЕРЕНИЯ

Первоначально предположим, что дана случайная дискретная последовательность  $\{v_j\}$ ,  $j = 0, \dots, N_v - 1$ , состоящая из  $N_v$  элементов, которые имеют нулевое среднее, дисперсию  $\sigma_v^2$  и значения  $v_j$  не коррелированы между собой. Из этой непериодической последовательности сформируем периодическую (с периодом  $N \geq N_v$ ) последовательность  $\{v_p(j)\}$  из  $N$  элементов по следующему правилу:

$$v_p(j) = \begin{cases} v_j, & j = 0, \dots, N_v - 1; \\ 0, & j = N_v, \dots, N - 1. \end{cases} \quad (2)$$

Дискретное преобразование Фурье этой последовательности определим парой преобразований:

$$V_p(l) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} v_p(j) \cdot \exp(\sqrt{-1} \cdot \frac{2\pi}{N} lj), \quad l = 0, \dots, N - 1;$$

$$v_p(j) = \sum_{l=0}^{N-1} V_p(l) \cdot \exp(\sqrt{-1} \cdot \frac{2\pi}{N} lj), \quad j = 0, \dots, N - 1. \quad (3)$$

Коэффициенты ДПФ  $V_p(l)$  обладают важным свойством: модули  $|V_p(l)|$  симметричны относительно точки  $l = N/2$ . Заметим, что использование алгоритма БПФ (быстрого преобразования Фурье) существенно уменьшает

затраты машинного времени на выполнение ДПФ по сравнению с «прямым» вычислением сумм в (3). Функции, реализующие БПФ, входят во все современные системы компьютерной математики (например, MathCAD, Matlab и другие). В частности, выбор периода  $N$  определяется требованием функции БПФ к длине периодической последовательности (например, период  $N$  должен быть равен степени 2, т.е.  $N = 2^m, m \geq 3$ ).

**Утверждение 1.** Коэффициенты ДПФ  $V_p(l)$ , являются случайными величинами с нулевым математическим ожиданием и одинаковой дисперсией  $\sigma_{V_p}^2$ , определяемой выражением:

$$\sigma_{V_p}^2 = M \left[ |V_p(l)|^2 \right] = \frac{N_v}{N^2} \sigma_v^2.$$

Доказательство утверждения приведено в работе [4].

Таким образом, определив коэффициенты ДПФ  $V_p(l)$ , можно вычислить выборочную оценку  $\hat{\sigma}_{V_p}^2$  дисперсии этих коэффициентов по формуле:

$$\hat{\sigma}_{V_p}^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{l=0}^{N-1} |V_p(l)|^2, \quad (4)$$

а затем оценить дисперсию  $\sigma_v^2$  непериодической последовательности  $\{v_j\}$ :

$$\hat{\sigma}_v^2 = \frac{N^2}{N_v} \cdot \hat{\sigma}_{V_p}^2. \quad (5)$$

Как правило, объем выборки  $N \geq 256$ , что позволяет достаточно точно оценить дисперсию  $\sigma_v^2$ .

Напомним, что полученная оценка дисперсии (4) имеет место, **если последовательность  $\{v_j\}$  не имеет детерминированную составляющую**. Однако, смесь «сигнал+шум» всегда включает низкочастотную (по сравнению с шумом измерения) детерминированную составляющую и в этом случае оценка дисперсии (4), вычисленная по всем коэффициентам ДПФ смеси будет существенно завышена. Как же оценить дисперсию шума в этом случае?

Введем в рассмотрение модель «сигнал+шум» следующего вида:

$$z_j = v_j + f_j, \quad j = 0, \dots, N_z - 1, \quad (6)$$

где  $f_j$  - значения детерминированного сигнала.

В соответствии со свойством линейности ДПФ, коэффициенты  $Z_p(l)$  также представляют собой сумму:

$$Z_p(l) = V_p(l) + F_p(l), \quad l = 0, \dots, N - 1.$$

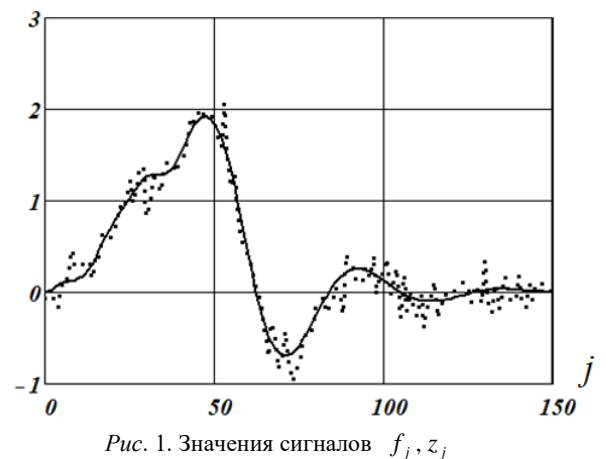
Вновь заметим, что в этом случае нельзя оценивать дисперсию  $\hat{\sigma}_{v_p}^2$  по всем коэффициентам ДПФ  $Z_p(l)$ . Для преодоления этого затруднения используем тот факт, что в окрестности точки  $l = N/2$  коэффициенты  $Z_p(l)$  определяются (для низкочастотного сигнала  $f_i$ ) только коэффициентами  $V_p(l)$  и в этом случае оценку  $\hat{\sigma}_{v_p}^2$  можно вычислить по формуле:

$$\hat{\sigma}_{v_p}^2 = \frac{1}{2M} \cdot \sum_{l=-M}^M |Z_p(N/2+l)|^2, \quad (7)$$

а затем воспользоваться соотношением (5). Таким образом, суммируются только те  $Z_p(l)$ , индексы которых попали в линейную апертуру  $A = [N/2 - M, N/2 + M]$ , т.е.  $l \in [N/2 - M, N/2 + M]$ .

Для иллюстрации эффективности такого подхода к оцениванию дисперсии шума в модели «сигнал+шум» был выполнен следующий вычислительный эксперимент. В качестве «точного» сигнала был принят выходной сигнал  $f_j$ , значения которого показаны на рис. 1 сплошной кривой. Эти значения искажались нормально распределенным шумом (результат  $z_j$  показан на Рис. 1 точечной кривой). Такая форма сигнала является типичной для выходного

сигнала при идентификации динамической системы второго порядка ( $N_z = 150, N = 256$ ).



На Рис. 2 приведены квадраты модулей  $|Z_p(l)|^2$  (сплошная кривая) и  $|V_p(l)|^2$  (точечная кривая). Видно, что в достаточно большой окрестности точки  $l = N/2 = 128$  (например,  $l = 128 \pm 90$ ) эти квадраты модулей совпадают и по этим коэффициентам  $Z_p(l)$  можно вычислять оценку (7).

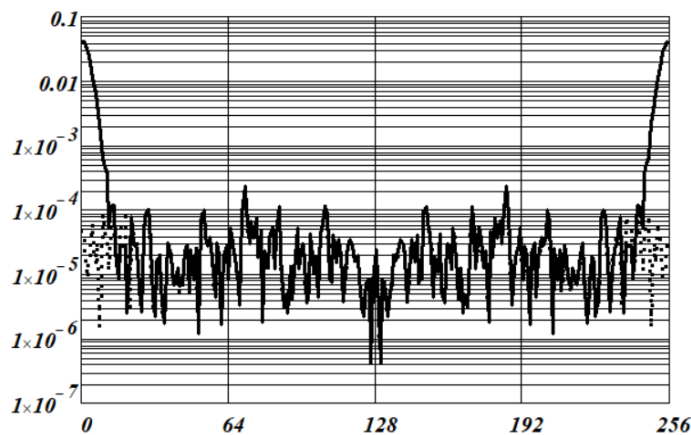


Рис. 2. Коэффициенты ДПФ сигналов  $\{v_i\}, \{z_i\}$

Далее, на Рис. 3 сплошной кривой показаны значения оценки  $\hat{\sigma}_v^2$ , вычисленной по формуле (5) при разных  $M$ , а точечной кривой – оценка дисперсии, вычисленная по известной реализации шума  $\{v_i\}$ . Видно, что при  $M \in [60, 100]$  оценка  $\hat{\sigma}_v^2$  может успешно использоваться для оценивания дисперсий шума суммы «сигнал+шум». Этот пример и другие эксперименты с оценкой  $\hat{\sigma}_{v_p}^2$  по формуле (7) позволяют рекомендовать выбор  $M$  из

интервала  $[1.1 \cdot N/4, 1.3 \cdot N/4]$ . В данном примере эта рекомендация дает значения  $M \in [70, 84]$ . Увеличение ошибки оценивания при малых значениях  $M$  можно объяснить малым объемом выборки, по которой вычисляется оценка (7), увеличение ошибки при больших значениях  $M$  – в сумму (7) начинают входить коэффициенты  $F_p(l)$ . Заметим, что выбор  $M$  также можно осуществить из анализа графика коэффициентов  $|Z_p(l)|^2$  (сплошная кривая на рис. 2).

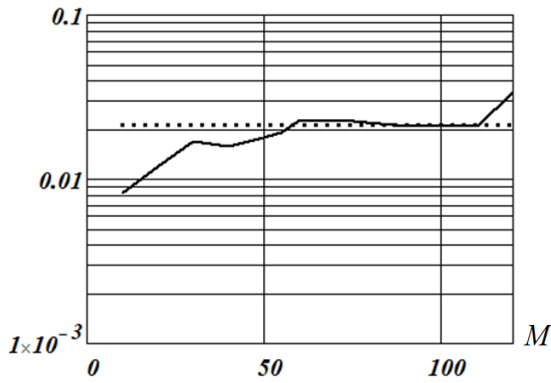


Рис. 3. К оцениванию дисперсии шума

В качестве оценки относительного уровня шума суммы «сигнал+шум» примем отношение:

$$\delta_v = \sqrt{\frac{M \left[ \|v\|^2 \right]}{\|f\|^2}}, \quad (8)$$

где  $\|v\|^2$  - квадрат евклидовой нормы вектора  $v$ , составленного из  $N_z$  значений дискретного шума  $\{v_i\}$  модели (6). При этом будем (как и ранее) предполагать:

- дискретная последовательность  $\{v_i\}$ ,  $i = 0, \dots, N_z - 1$ , состоит из  $N_z$  случайных величин с нулевым средним, дисперсией  $\sigma_v^2$  и не коррелированных между собой, т.е.  $M[v_i v_j] = 0, i \neq j$ ;
- элементы  $\{v_i\}$  и  $\{f_i\}$  также не коррелированы между собой.

Первоначально вычислим величину числителя при сделанных предположениях:

$$M \left[ \|v\|^2 \right] = M \left[ \sum_{i=0}^{N_z-1} v_i^2 \right] = \sigma_v^2 \cdot N_z.$$

Для вычисления знаменателя (8) обратимся к представлению:

$$M \left[ \|z\|^2 \right] = M \left[ \|v\|^2 \right] + M \left[ \|f\|^2 \right] = M \left[ \|v\|^2 \right] + \|f\|^2,$$

из которого следует выражение:

$$\|f\|^2 = M \left[ \|z\|^2 \right] - M \left[ \|v\|^2 \right].$$

По одной реализации невозможно достаточно точно вычислить выборочную оценку для  $M \left[ \|z\|^2 \right]$  и потому ее заменим величиной  $\|z\|^2$ .

Для вычисления  $\|z\|^2$  обратимся к равенству Парсеваля, которое для ДПФ имеет вид (подробнее см. [4]):

$$\sum_{j=0}^{N-1} z_p^2(j) = N \sum_{l=0}^{N-1} |Z_p(l)|^2.$$

Тогда последнее выражение можно переписать как

$$\sum_{j=0}^{N-1} z_p^2(j) = \sum_{i=0}^{N_z-1} z_i^2 = \|z\|^2 = N \sum_{l=0}^{N-1} |Z_p(l)|^2. \quad (9)$$

Тогда, возвращаясь к (8), получаем следующую оценку для относительного уровня шума  $\{v_i\}$  в модели «сигнал+шум» вида  $z_i = v_i + f_i, i = 0, \dots, N_z - 1$ :

$$\hat{\delta}_v = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_v^2 \cdot N_z}{N \cdot \sum_{l=0}^{N-1} |Z_p(l)|^2 - \hat{\sigma}_v^2 \cdot N_z}}. \quad (10)$$

где оценка  $\hat{\sigma}_v^2$  дисперсии шума  $\sigma_v^2$  вычисляется по формулам (5), (7) при соответствующем выборе величины  $M$  в выражении (7).

Для исследования точности этой оценки был проведен вычислительный эксперимент с различными сигналами и уровнями шумов. Результаты эксперимента показали, что относительная ошибка определения уровня шума не превосходит 2-4 %, что позволяет считать оценку (10) достаточно эффективной оценкой.

## 2. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУМЕРНОГО ШУМА ИЗМЕРЕНИЯ

Обобщим оценки (5), (7) для оценивания дисперсии шума измерения двумерного сигнала вида:

$$z_{j_1, j_2} = v_{j_1, j_2} + f_{j_1, j_2}, \quad j_1 = 0, \dots, N_{z_1} - 1, \quad j_2 = 0, \dots, N_{z_2} - 1, \quad (11)$$

где  $\{v_{j_1, j_2}\}$  - случайные величины с нулевым математическим ожиданием, дисперсией  $\sigma_v^2$  и некоррелированные друг с другом. Сформируем дискретную двумерную периодическую последовательность

$\{v_p(j_1, j_2)\}, 0 \leq j_1 \leq N_1 - 1, 0 \leq j_2 \leq N_2 - 1$ , по правилу:

$$v_p(j_1, j_2) = \begin{cases} v_{j_1, j_2}, & \text{если } 0 \leq j_1 \leq N_{z_1} - 1, 0 \leq j_2 \leq N_{z_2} - 1; \\ 0, & \text{в других случаях.} \end{cases} \quad (12)$$

Вычислим коэффициенты ДПФ случайной последовательности  $\{v_p(j_1, j_2)\}$  (прямое двумерное ДПФ):

$$V_p(l_1, l_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{j_1=0}^{N_1-1} \sum_{j_2=0}^{N_2-1} v_p(j_1, j_2) \exp \left\{ -2\pi\sqrt{-1} \cdot \left( \frac{j_1 \cdot l_1}{N_1} + \frac{j_2 \cdot l_2}{N_2} \right) \right\}, \quad (13)$$

$$l_1 = 0, \dots, N_1 - 1; \quad l_2 = 0, \dots, N_2 - 1.$$

Для этого также используется алгоритм двумерного БПФ.

**Утверждение 2.** Коэффициенты ДПФ  $V_p(l_1, l_2)$  являются случайными величинами с нулевым математическим ожиданием и одинаковой дисперсией  $\sigma_{V_p}^2$ , определяемую выражением:

$$\sigma_{V_p}^2 = M \left[ |V_p(l_1, l_2)|^2 \right] = \frac{N_{z_1} \cdot N_{z_2}}{N_1^2 \cdot N_2^2} \sigma_v^2.$$

Очевидно, что вычислив выборочную оценку  $\hat{\sigma}_{V_p}^2$ , можно определить выборочную оценку для дисперсии  $\sigma_v^2$  в виде:

$$\hat{\sigma}_v^2 = \frac{N_1^2 \cdot N_2^2}{N_{z_1} \cdot N_{z_2}} \hat{\sigma}_{V_p}^2. \quad (14)$$

По аналогии с (9), (10) определим периодическую последовательность  $\{z_p(j_1, j_2)\}, 0 \leq j_1 \leq N_1 - 1, 0 \leq j_2 \leq N_2 - 1$  и ее коэффициенты ДПФ  $\{Z_p(l_1, l_2)\}$ . К сожалению, оценка  $\hat{\sigma}_{V_p}^2$ , определяемая выражением:

$$\hat{\sigma}_{V_p}^2 = \frac{1}{2M_1} \cdot \frac{1}{2M_2} \cdot \sum_{l_1=-M_1}^{M_1} \sum_{l_2=-M_2}^{M_2} \left| Z_p\left(N_1/2 + l_1, N_2/2 + l_2\right) \right|^2 \quad (15)$$

дает завышенные значения. Обусловлено это тем, что в «углах» прямоугольной апертуры  $A = [(N_1/2 - M_1, N_1/2 + M_1) \times (N_2/2 - M_2, N_2/2 + M_2)]$  присутствуют уже коэффициенты ДПФ детерминированного сигнала, которые не должны входить в сумму (15). Выходом из такой ситуации является использования круговой апертуры с центром в точке  $(N_1/2, N_2/2)$  радиуса  $R$ . В этом случае оценка имеет вид:

$$\hat{\sigma}_{V_p}^2 = \frac{1}{N_{sam}(R) - 1} \cdot \sum_{l_1=0}^{N_1-1} \sum_{l_2=0}^{N_2-1} |Z_p(l_1, l_2)|^2 \cdot I(l_1, l_2, R), \quad (16)$$

где функция  $I(l_1, l_2, R)$  равняется 1, если удовлетворяется условие:

$$\left( l_1 - N_1/2 \right)^2 + \left( l_2 - N_2/2 \right)^2 \leq R^2 \quad (17)$$

и нулю в противном случае,  $N_{sam}(R)$  - число коэффициентов ДПФ  $Z_p(l_1, l_2)$ , индексы которых удовлетворяют (17), т.е. объем выборки при оценивании дисперсии  $\sigma_{V_p}^2$ . Для определения  $R$  можно рекомендовать соотношение

$$R = (0.05 \div 0.1) \cdot \min(N_1, N_2).$$

Даже при малых значениях  $R$ , величина  $N_{sam}(R)$  равняется нескольким сотням, что обеспечивает приемлемую точность оценивания дисперсии  $\sigma_{V_p}^2$  (например, если даже  $R=10$ , то  $N_{sam}(R) = 2\pi R^2 = 314$ ). Вычислив оценку  $\hat{\sigma}_{V_p}^2$ , по формуле (14) находим оценку  $\hat{\sigma}_v^2$  для неизвестной дисперсии двумерного шума  $\{v_{j_1, j_2}\}$ .

Обратимся к оценке (10) и обобщим ее на случай двумерного дискретного сигнала вида:

$$z_{j_1, j_2} = v_{j_1, j_2} + f_{j_1, j_2}, \quad j_1 = 0, \dots, N_{z_1} - 1, \quad j_2 = 0, \dots, N_{z_2} - 1$$

где  $\{v_{j_1, j_2}\}$  - случайные величины с нулевым математическим ожиданием, дисперсией  $\sigma_v^2$  и некоррелированные друг с другом. Получаем следующую оценку для относительного уровня шума:

$$\hat{\delta}_v = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_v^2 \cdot N_{z_1} \cdot N_{z_2}}{N_1 \cdot N_2 \cdot \sum_{l_1=0}^{N_1-1} \sum_{l_2=0}^{N_2-1} |Z_p(l_1, l_2)|^2 - \hat{\sigma}_v^2 \cdot N_{z_1} \cdot N_{z_2}}}. \quad (18)$$

Для иллюстрации эффективности предлагаемого подхода к оцениванию дисперсии двумерного шума в модели «сигнал+шум» был выполнен следующий вычислительный эксперимент. В качестве «точного» точного двумерного сигнала  $\{f_{j_1, j_2}\}$  было принято изображение, представляющее собой сумму двух экспонент размером  $160 \times 160$  пикселей, изометрия которого показано на рис. 4а). Это изображение искажалось нормально распределенным шумом с различной дисперсией. На рис. 4б) нанесены изолинии изображения, искаженного шумом с относительным уровнем 0.10. Величины  $N_1 = 256, N_2 = 256$ .

В таблице приведены значения относительных ошибок оценивания дисперсии и уровня шума, которые вычислялись по формулам:

$$\delta_\sigma = \frac{|\hat{\sigma}_{vвыб}^2 - \hat{\sigma}_v^2|}{\hat{\sigma}_{vвыб}^2} \cdot 100\%,$$

$$\delta_\delta = \frac{|\hat{\delta}_{vвыб} - \hat{\delta}_v|}{\hat{\delta}_{vвыб}} \cdot 100\%,$$

где  $\hat{\sigma}_{vвыб}^2, \hat{\delta}_{vвыб}$  - выборочные оценки для дисперсии и уровня шума, вычисленные по известной реализации шума (что возможно



только в вычислительном эксперименте),  $\hat{\sigma}_v^2$ ,  $\hat{\delta}_v$  - оценки (14), (18). Эти значения были вычислены при четырех значениях параметра  $R$  и объеме выборки 50. Затемненные ячейки

соответствуют минимальным значениям ошибки при том или ином уровне шума.

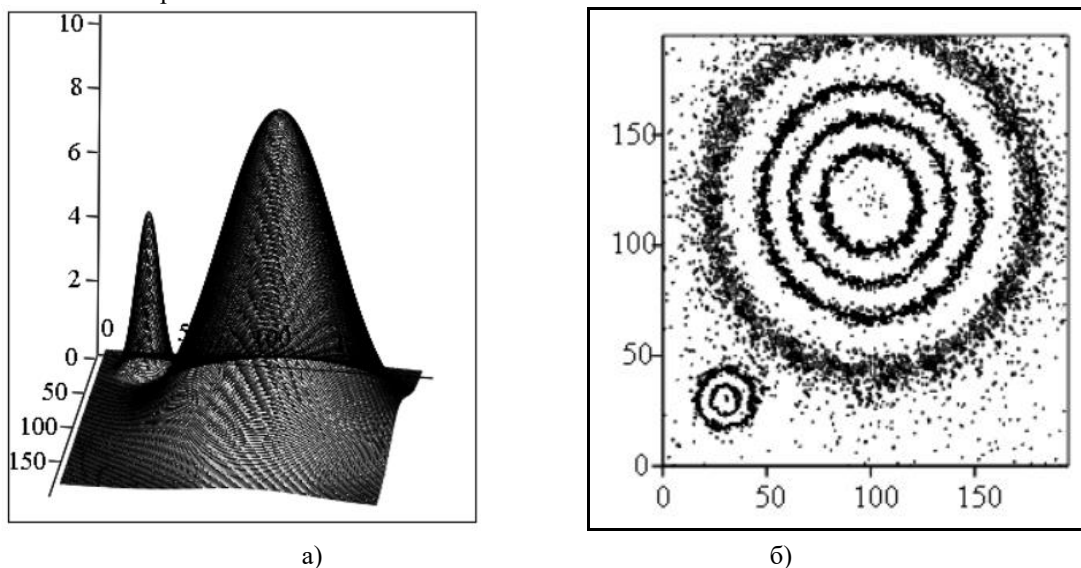


Рис. 4. Точное и зашумленное тестовое изображение

Таблица

Значения относительных ошибок оценивания дисперсии и уровня шума

Уровень шума $\delta_v$	$R = 80$		$R = 100$		$R = 120$		$R = 150$	
	$\delta_\sigma$	$\delta_\delta$	$\delta_\sigma$	$\delta_\delta$	$\delta_\sigma$	$\delta_\delta$	$\delta_\sigma$	$\delta_\delta$
0.02	1.05	0.52	1.67	0.83	4.55	2.25	517	148
0.05	0.88	0.44	0.69	0.34	0.79	0.38	82.8	35.3
0.075	0.92	0.46	0.62	0.31	0.49	0.24	36.7	17.1
0.10	0.78	0.38	0.71	0.35	0.49	0.24	20.6	9.91
0.15	0.89	0.47	0.56	0.28	0.49	0.26	9.21	4.63

Видно, что приемлемые значения параметра  $R$  лежат в интервале  $[80...120]$ , а относительные ошибки оценивания не превышают нескольких процентов. Такая высокая точность объясняется большим объемом  $N_{sam}(R)$  выборки коэффициентов ДПФ в выборочной оценке (16) при соответствующем определении параметра  $R$ . Действительно, при  $R = 100$  объем выборки  $N_{sam}(R)$  равен  $N_{sam}(R) = 2\pi R^2 = 3.14 \times 10000 = 31400$  коэффициентов ДПФ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе построены две оценки, которые позволяют достаточно точно оценить дисперсию и относительный уровень шума, как одномерного, так и двумерного дискретного шума модели «сигнал+шум». Использование этих оценок позволит более точно определить параметры алгоритмов решения задач

фильтрации или регуляризирующих алгоритмов решения обратных задач и задач идентификации.

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректно поставленных задач. М.: Наука, 1979. – 278 с.  
 [2] Тихонов А. Н. и др. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990. – 231 с.  
 [3] Воскобойников Ю.Е., Преображенский Н.Г., Седельников А.И. Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. – Новосибирск: Наука, 1984. – 238 с.  
 [4] Воскобойников Ю.Е. Устойчивые алгоритмы решения обратных измерительных задач. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2007. – 184 с.  
 [5] Воскобойников Ю.Е., Крысов Д.А. Непараметрическая идентификация динамической системы при неточном входном сигнале. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 4 (22). С. 86–93.

- [6] Воскобойников Ю. Е., Крысов Д.А. Алгоритм идентификация импульсной переходной функции при высоком уровне шума измерения входного сигнала системы. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 2 (24). С. 67–75.



**Юрий Евгеньевич Воскобойников**, выпускник кафедры автоматки НГТУ (НЭТИ), доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный работник Высшей школы РФ, Соросовский профессор, действительный член МАИ,

РАЕ, МАН ВШ, заведующий кафедрой прикладной математики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин), профессор кафедры автоматки НГТУ. Автор более 295 публикаций, 6 монографий, посвященных решению некорректных задач интерпретации данных и обработке сигналов и изображений, и большого числа учебников и учебных пособий.

Новосибирск, 530073, просп. К. Маркса, д.20

E-mail: [voscob@mail.ru](mailto:voscob@mail.ru)



**Данила Алексеевич Крысов**, аспирант кафедры Автоматики Новосибирского государственного технического университета. Автор ряда научных статей. Область научных интересов: вейвлет-фильтрация, идентификация систем. Новосибирск, 530073, просп. К. Маркса, д.20

E-mail: [tamahouk@sibnet.ru](mailto:tamahouk@sibnet.ru)

Статья поступила 12 августа 2018 г.

## Estimation of the Noise Measurement Characteristics in the Model “Signal + Noise”

Yu.E. Voskoboinikov<sup>1,2</sup>, D. A. Krysov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Architectural and Construction University (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>FGBOU VO Novosibirsk State Technical University, prosp. Karl Marx, 20, Novosibirsk, Russia

*Abstract* – When solving problems of identification and control in technical systems, the used signal is a mix of "signal + noise". The problem arises from the observed values of this mix, to estimate the numerical characteristics of the noise component, knowledge of which is necessary for making the appropriate decisions. In this paper, the noise variance and the relative noise level are considered as such characteristics. Estimates for these numerical characteristics are proposed. To find the estimates, the coefficients of the discrete Fourier transform of the "signal + noise" mix are used. The constructed estimates are generalized to the case when the "noise + signal" mix is a two-dimensional signal. The computational experiment showed acceptable accuracy of these estimates: the relative error of estimating the dispersion didn't exceed 3-5%, and the relative noise level was 2%.

*Key words*: "signal + noise" mix, numerical characteristics of noise, discrete Fourier transform, noise variance estimation, relative noise level estimation, estimation of two-dimensional noise characteristics.

### REFERENCES

- [1] Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya. *Metody resheniya nekorrektno postavlennykh zadach*. M.: Nauka, 1979. – 278 s.
- [2] Tikhonov A. N. i dr. *Chislennyye metody resheniya nekorrektnykh zadach*. M.: Nauka, 1990. – 231 s.
- [3] Voskoboinikov YU.Ye., Preobrazhenskiy N.G., Sedel'nikov A.I. *Matematicheskaya obrabotka eksperimenta v molekulyarnoy gazodinamike*. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 238 s.
- [4] Voskoboinikov YU.Ye. *Ustoychivyye algoritmy resheniya obratnykh izmeritel'nykh zadach*. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2007. – 184 s.
- [5] Voskoboinikov YU.Ye., Krysov D.A. *Neparametricheskaya identifikatsiya dinami-cheskoy sistemy pri netochnom vkhodnom signale*. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2017. № 4 (22). S. 86–93.
- [6] Voskoboinikov YU. Ye., Krysov D.A. *Algoritm identifikatsiya impul'snoy perekhodnoy funktsii pri vysokom urovne shuma izmereniya vkhodnogo signala sistemy*. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2018. N 2 (24). S. 67–75.



**Yury Evgenyevich Voskoboinikov**, doctor of physical and mathematical sciences. in Economics, Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Soros Professor, Full Member of the MAI, RAE, MAN VS, Professor, Automation Department, NSTU.

Head of the Department of Applied Mathematics of the Novosibirsk State Architectural and Construction University (Sibstrin). He is the author of more than 300 scientific publications, 6 monographs devoted to solving ill-posed problems of data interpretation and signal and image processing, 16 textbooks and teaching aids.

Novosibirsk, prosp. K. Marx, 20

**E-mail:** [voscob@mail.ru](mailto:voscob@mail.ru)



Danila Alekseevich Krysov, postgraduate student of Automation Department of Novosibirsk State Technical University. Author of several scientific articles. Research interests: wavelet filtration, identification of systems.

Novosibirsk, prosp. K. Marx, 20

**E-mail:** [tamahouk@sibnet.ru](mailto:tamahouk@sibnet.ru)

The paper was received on August, 12, 2018.

# Алгоритм определения частоты регуляризации в МНК идентификации импульсной и частотных характеристик

Г.П. Чикильдин, И.В. Маевский

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Россия.  
630090, просп. Карла Маркса, д. 20.

*Аннотация:* Рассматривается задача идентификации импульсной и частотных характеристик по измеряемым входному и выходному сигналам посредством метода наименьших квадратов, базирующимся на интегральном уравнении свертки. В результате несложных преобразований (ограничение длительности импульсной характеристики, замена интеграла квадратурной формулой) решение интегрального уравнения свертки сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Из-за плохой обусловленности матрицы, наличия методических и инструментальных погрешностей МНК-оценки импульсной характеристики получаются очень грубыми. Для улучшения получаемых оценок применяется частотная регуляризация, суть которой в обнулении амплитудно-фазовой характеристики за некоторой частотой, близкой к максимальной частоте полосы пропускания объекта, поскольку ошибка идентификации носит высокочастотный характер. В работе предлагаются два алгоритма автоматического определения частоты регуляризации. Первый из них базируется на определении некоторого показателя, характеризующего отклонение от нуля оценки импульсной характеристики на интервале за ее эффективной длительностью. Указанный показатель определяется в итерационном процессе при изменении частоты регуляризации от задаваемых минимального значения и шага изменения. Если отношение показателя на текущем шаге к его значению на предыдущем шаге превысит некоторую наперед задаваемую величину, то итерационный процесс заканчивается и частота регуляризации определена. Во втором алгоритме, после определения оценки амплитудной частотной характеристики вычисляется отношение ее амплитудных значений в двух рядом стоящих точках (следующее к предыдущему). За частоту регуляризации принимается частота, при которой это отношение станет больше единицы в области малых (порядка 0,1 от максимального) амплитудных значений частотной характеристики. Приводятся результаты модельных экспериментов по предлагаемым алгоритмам для четырех объектов с различной степенью колебательности импульсных характеристик. Дается сравнительный анализ алгоритмов определения частоты регуляризации.

*Ключевые слова:* идентификация, импульсная характеристика, частотные характеристики, оценки, интегральное уравнение свертки, метод наименьших квадратов, частота регуляризации, алгоритм определения частоты регуляризации, погрешности идентификации.

## ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] был предложен алгоритм частотной регуляризации метода наименьших квадратов (МНК) при идентификации импульсной (ИХ) и частотных (АЧХ и ФЧХ) характеристик динамического объекта.

МНК базируется на решении интегрального уравнения свертки, которое посредством элементарных преобразований сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений с неточно заданной правой частью из-за методических погрешностей преобразований и наличия помех, искажающих входной и выходной сигналы идентифицируемого объекта [2,3]. Минимизация среднеквадратичного функционала приводит к алгебраической системе «усеченного» вида, без неизмеримого вектора в правой части, в результате чего можно определить лишь МНК – оценку ИХ. Среднеквадратичные относительные погрешности, возникающие при решении «усеченной» системы, достигают очень высокого уровня (порядка сотен процентов даже без помех на сигналах входа и выхода объекта) [4].

Модельный анализ показал, что указанные погрешности возникают по причине плохой обусловленности матрицы решаемой системы алгебраических уравнений, методической составляющей ошибок преобразования и в общем случае инструментальной составляющей, порожденной наличием помех. Однако, при анализе частотных свойств погрешностей идентификации, что наглядно наблюдается на оценке АЧХ, полученной путем дискретного преобразования Фурье оценки ИХ, было замечено, что спектр ошибки идентификации носит высокочастотный характер и эффективная мощность этого спектра располагается за максимальной частотой эффективной длительности АЧХ объекта [1,4].

Существенного снижения ошибки идентификации (примерно на два порядка) удастся обеспечить за счет определения оценки ИХ из регуляризированной алгебраической системы уравнений по А.Н.Тихонову [3,4]. Однако при этом возникает проблема выбора величины параметра регуляризации, поскольку

никаких рекомендаций по этому поводу, в общем случае, нет.

Частотная регуляризация предполагает обнуление амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) за некоторой частотой регуляризации, где начинается подъем уровня спектра ошибки идентификации и последующее обратное преобразование Фурье для получения новой, улучшенной оценки ИХ. Если обозначить частоту регуляризации как  $\Omega_p$ , а максимальную частоту эффективной длительности АЧХ объекта через  $\Omega_W$ , то можно дать рекомендации по выбору частоты регуляризации из условия  $\Omega_p \leq \Omega_W$ , что наглядно иллюстрируют многочисленные модельные эксперименты на различных объектах (не колебательная, слабо колебательная, средне колебательная, сильно колебательная ИХ см. Рис. 1, 2).

Условие  $\Omega_p \approx \Omega_W$  в некоторых случаях позволяет при выбранной частоте  $\Omega_p$  дать оценку максимальной частоты  $\Omega_W$  эффективной длительности АЧХ объекта, что дополнительно характеризует использование частотной регуляризации с положительной стороны.

Алгоритм выбора частоты регуляризации, предложенный в [1], требует информации об эффективной длительности идентифицируемой ИХ, что связано с дополнительными исследованиями объекта, а также задания некоторых констант по неоднозначным рекомендациям.

В данной работе предлагается два подхода к выбору частоты регуляризации. Ниже изложены алгоритмы и результаты исследований по этому поводу, проведенных на модельных объектах, рассмотренных в [4].

На Рис. 1 и 2 приведены ИХ и АЧХ указанных объектов. Объекты (1), (2), (3) имеют порядок  $n = 4$ , а у объекта (4)  $n = 8$ .

Полные результаты исследований будут приведены по объекту (3), имеющему средне колебательную ИХ, а по остальным объектам лишь основные.

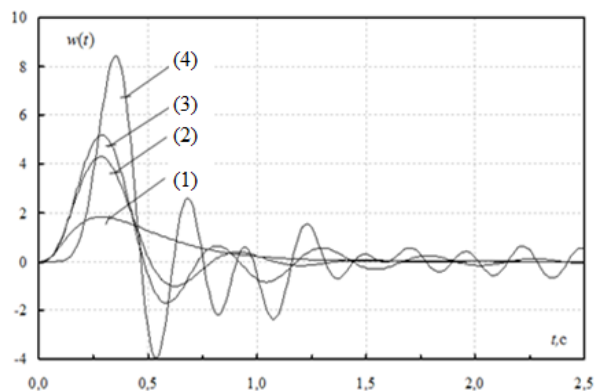


Рис. 1. ИХ модельных объектов

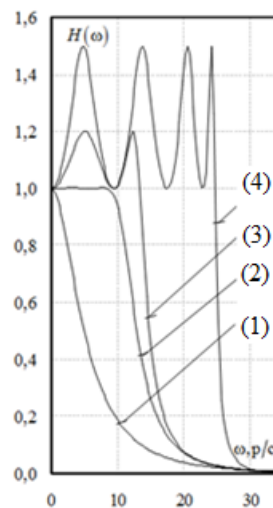


Рис. 2. АЧХ модельных объектов

На Рис. 3 и 4 показаны ИХ и АЧХ (сплошные линии) и их оценки (пунктирные линии), полученные классическим МНК в отсутствие помех, искажающих измеренные сигналы. Среднеквадратичные относительные погрешности даже в этом случае составляют  $e_{w0} = 2.6825$  по ИХ и  $e_{H0} = 2.6712$  по АЧХ.

Погрешности идентификации модифицированным МНК (с частотной регуляризацией) при частоте  $\Omega_p = 28,5$  p/c соответственно  $e_{w0} = 0.0120$  и  $e_{H0} = 0.0102$ , что свидетельствует об эффективности частотной регуляризации. Следует отметить, что регуляризация по А.Н.Тихонову позволила получить погрешности того же порядка, но более высокого уровня.



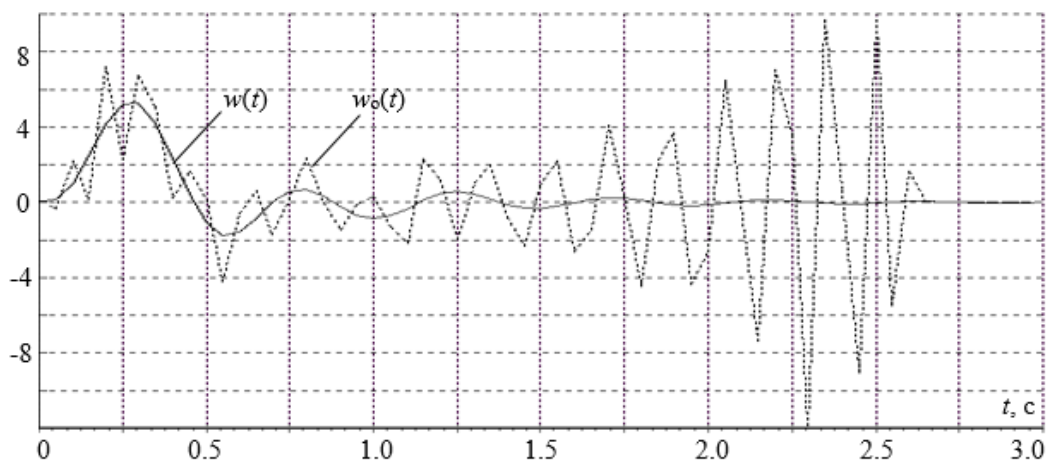


Рис. 3. ИХ объекта (3)

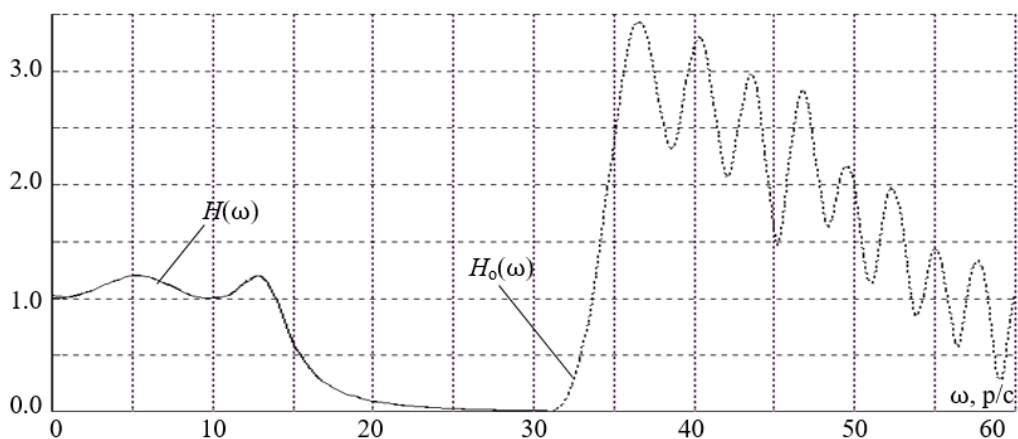


Рис. 4. АЧХ объекта (3)

С целью корректности анализа результатов по алгоритмическому выбору частоты регуляризации приведем кривые погрешностей идентификации в зависимости от частоты регуляризации, полученные «вручную» (см. Рис. 5). Идентификация проводилась в присутствии широкополосной помехи, искажающей выходной сигнал  $y(t)$  объекта, уровня  $\delta_{um} = 0.5$  (отношение максимальных по модулю уровней). Входной сигнал помехой не искажался. Как следует из Рис.5 погрешности  $e_{w_o} \approx 0,04$  и  $e_{H_o} \approx 0,03$  имеют место быть в достаточно широком диапазоне изменения  $\Omega_p \in [21; 30]$  p/c при полосе пропускания объекта  $\omega \in [0, 32]$  p/c (третья часть полосы). Отметим, что у остальных модельных объектов качественно ситуация выглядит аналогично. Полученные результаты (широкий диапазон квазиоптимальных значений частоты регуляризации) существенно облегчает возможности алгоритмического выбора этой частоты.

В данной работе предлагаются два подхода для алгоритмического выбора частоты регуляризации.

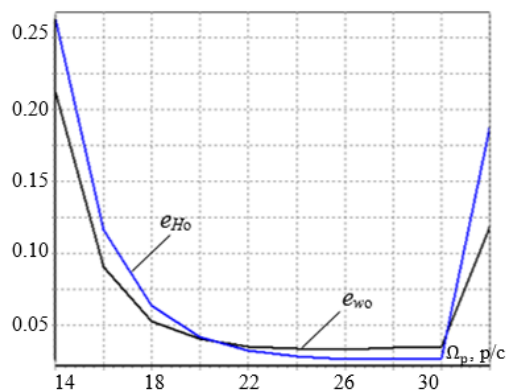


Рис. 5. Влияние частоты регуляризации на ошибки идентификации

### АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

Первый алгоритм использует результаты по данной проблеме, приведенные в [1]. Этот алгоритм базируется на разнице ошибок идентификации, вычисляемых на эффективной длительности характеристик  $K_W$  и на всем интервале их определения  $N_F$ . Последовательность функционирования алгоритма можно представить в следующем виде.

Классическим МНК определяются оценки ИХ  $w_0(t)$  и АЧХ  $H_0(\omega)$ .

В частотной области задается минимально возможное значение частоты регуляризации  $\Omega_{p\min}$  (например  $\Omega_{p\min} = 0$ ), шаг изменения  $\Delta\Omega_p$  (например,  $\Delta\Omega_p = 2\pi / (N_F \cdot \Delta t)$ , где  $N_F$  - длина интервала определения ИХ,  $\Delta t$  - шаг дискретизации по времени), параметр  $\mu = 1$ , и запускается итерационная процедура по  $r = 1, 2, 3, \dots$ , на каждом шаге которой определяется  $r$ -тая частота регуляризации

$$\Omega_{pr} = \Omega_{p\min} + (r-1) \cdot \Delta\Omega_p = (K_p - 1) \cdot \Delta\omega,$$

производится обнуление АФХ за частотой  $\Omega_{pr}$ ,

вычисляется оценка ИХ

$$w_{or} = Fr^{-1}\{W_{or}(j\omega)\},$$

находится значение показателя

$$d_{wr} = \sqrt{\frac{1}{N_F - K_w} \cdot \sum_{k=K_w+1}^{N_F} w_{ork}^2},$$

вычисляется параметр

$$\mu_r = \frac{d_{wr}}{d_{w(r-1)}}$$

и производится анализ, если  $\mu_r \leq \mu$ , то осуществляется переход на следующий  $(r+1)$  шаг, если  $\mu_r > \mu$ , то итерационный процесс заканчивается и принимается  $\Omega_p = (r-1) \cdot \Delta\Omega_p$ .

Следует отметить, что в процессе модельных исследований иногда возникала ситуация, когда параметр  $\mu_r > \mu$  при тех значениях частоты регуляризации, где наблюдался либо

нежелательный рост оценки АЧХ  $H_0(\omega)$  в связи с особенностями МНК, либо действительный рост АЧХ  $H(\omega)$  в связи с особенностями объекта. Поскольку  $\Omega_p$  предполагается выбирать из условия  $\Omega_p \leq \Omega_W$ , т.е. вблизи максимальной частоты эффективной длительности АЧХ объекта, где  $H(\omega) \approx 0,01 \div 0,10$  от максимальной величины  $H_{\max}$ , то в процессе итераций по  $r$  осуществляется поиск  $H_{\max}$  путем вычисления  $H(\Omega_{p(r+1)})$  и сравнения с  $H(\Omega_p)$ . При этом, останов итерационной процедуры по  $r$  из условия  $\mu_r > \mu$  следует осуществлять только в случае, если  $H(\Omega_p)/H_{\max} \leq 0,1$

В данном алгоритме, в отличие от предложенного в [1], необходима априорная информация только об эффективной длительности ИХ  $T_w = (K_w - 1) \cdot \Delta t$ .

В Таблице 1 приведены результаты функционирования описанного алгоритма выбора частоты регуляризации  $\Omega_p$  для объектов (1) – (4).

На Рис. 6 показаны ИХ  $w(t)$  и ее оценка  $w_0(t)$ , а на Рис.7 – АЧХ  $H(\omega)$  и ее оценка  $H_0(\omega)$ , полученные модифицированным МНК при идентификации объекта (3) в условиях действия не коррелирующей широкополосной помехи  $\delta y(t)$  уровня  $\delta y_m = 0,5$  ( $\Omega_p = 31,0$  рад/с,  $e_{w_0} = 0,038$ ,  $e_{H_0} = 0,029$ ).

Таблица 1

Частота регуляризации при различных помехах уровня  $\delta y_m = 0,5$

№ Объекта	$\delta y_m = 0$	НЧ-помеха		ШП-помеха		ВЧ-помеха	
	-	некор.	кор.	некор.	кор.	некор.	кор.
(1)	32,2	32,0	31,8	31,6	30,4	31,4	31,4
(2)	33,0	31,4	31,6	31,0	30,0	31,4	31,4
(3)	31,8	31,4	31,6	30,8	30,4	31,0	31,0
(4)	31,6	31,6	31,6	31,0	30,4	31,6	31,6

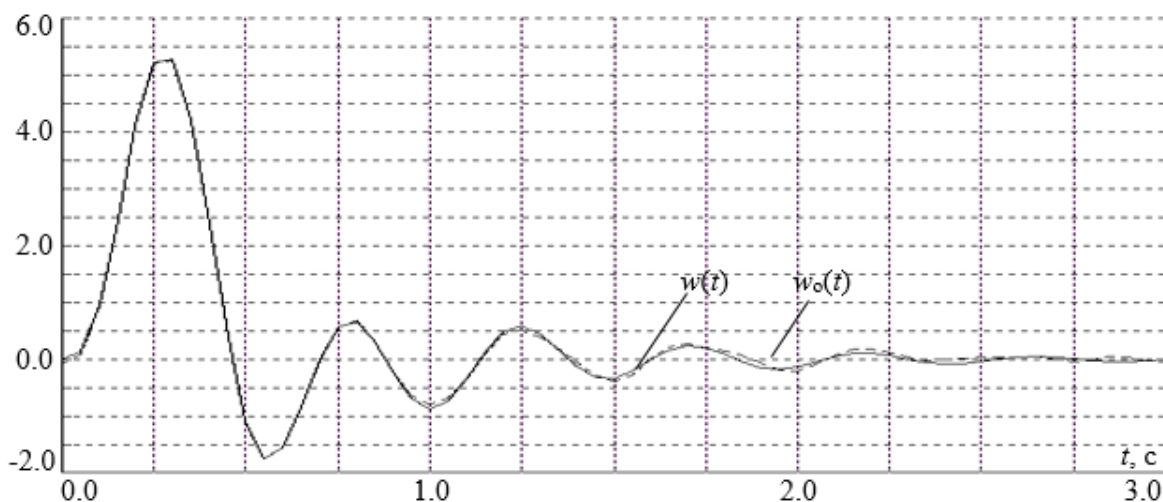


Рис. 6. ИХ и ее оценка объекта (3)

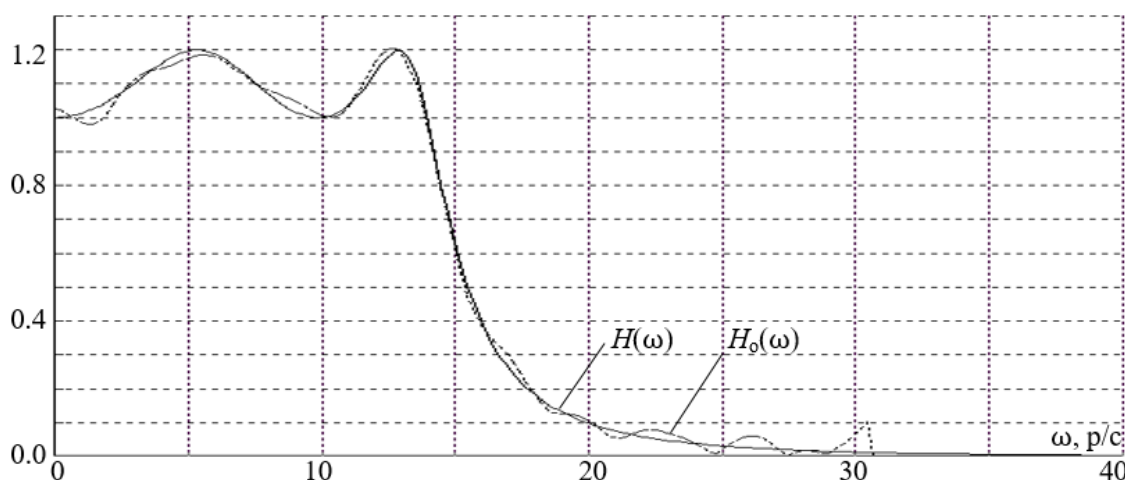


Рис. 7. АЧХ и ее оценка объекта (3)

Второй алгоритм выбора частоты регуляризации  $\Omega_p$  базируется на анализе амплитудных значений оценки  $H_o(\omega)$  объекта, полученной классическим МНК.

Задается параметр  $\nu = 1$ . Определяется отношение

$$\nu_r = \frac{H_o(\omega_r)}{H_o(\omega_{r-1})}, \quad r = 1, 2, \dots$$

и производится сравнение, если  $\nu_r \leq \nu$ ,

то осуществляется переход на  $(r+1)$  шаг, в противном случае делается останов и принимается  $\Omega_p = \omega_{(r-1)}$ .

Здесь, как и в предыдущем алгоритме, предусмотрена ситуация, связанная с увеличением амплитудных значений оценки АЧХ  $H_o(\omega)$  в диапазоне частот, где  $H(\omega_r)/H_{\max} \leq 0,1$

Задание параметра  $\nu$  в виде  $\nu = 1$  производится из соображения, что АЧХ объекта не может изменяться скачком вблизи частоты  $\Omega_w$ , в отличие от ее оценки и если, при

достаточно малом шаге  $\Delta\omega$  округлить величину  $\nu_r$ , то она не будет превышать задаваемое  $\nu$ . Резкий подъем амплитуды АЧХ может иметь место из-за наличия резонанса, но предполагается, что это явление резонанса не происходит в области частот, где  $H(\omega_r)/H_{\max} \leq 0,1$ , т.е. вблизи верхней частоты полосы пропускания объекта. Многочисленные результаты, полученные на различных модельных объектах, иллюстрируют это положение.

В Таблице 2 приведены результаты функционирования алгоритма по выбору частоты регуляризации, а на Рис. 8, 9 характеристики и их оценки объекта (3) ( $\Omega_p = 24,5 \text{ p/c}$ ,  $e_{w0} = 0,034$ ,  $e_{H0} = 0,026$ , ШП-помеха, не коррелирующая с входным сигналом).

Частота регуляризации при различных помехах уровня  $\delta y_m = 0,5$ 

№ Объекта	$\delta y_m = 0$	НЧ-помеха		ШП-помеха		ВЧ-помеха	
	-	не кор.	кор.	не кор.	кор.	не кор.	кор.
(1)	31,4	30,4	26,5	27,5	10,8	30,4	30,4
(2)	30,9	30,4	24,5	25,0	17,7	30,4	29,0
(3)	30,4	27,5	23,1	24,5	18,2	29,9	28,5
(4)	29,2	29,2	29,9	28,2	30,7	29,9	28,2

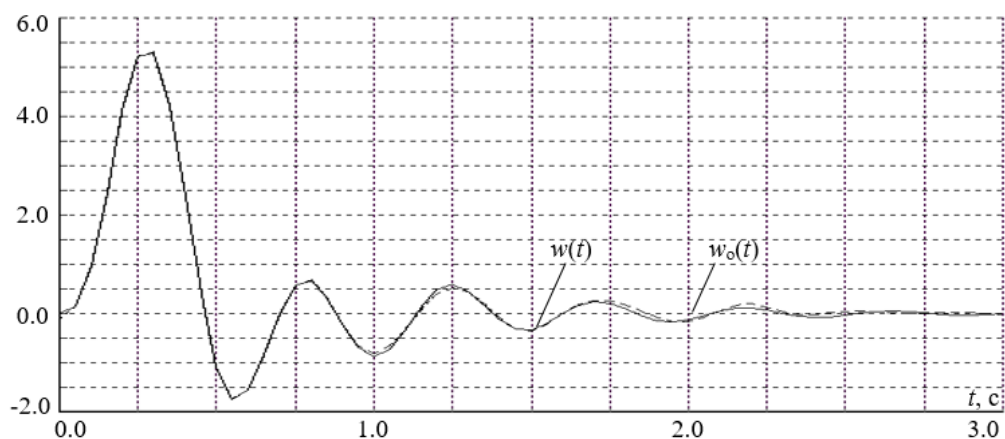


Рис. 8. ИХ и ее оценка объекта (3)

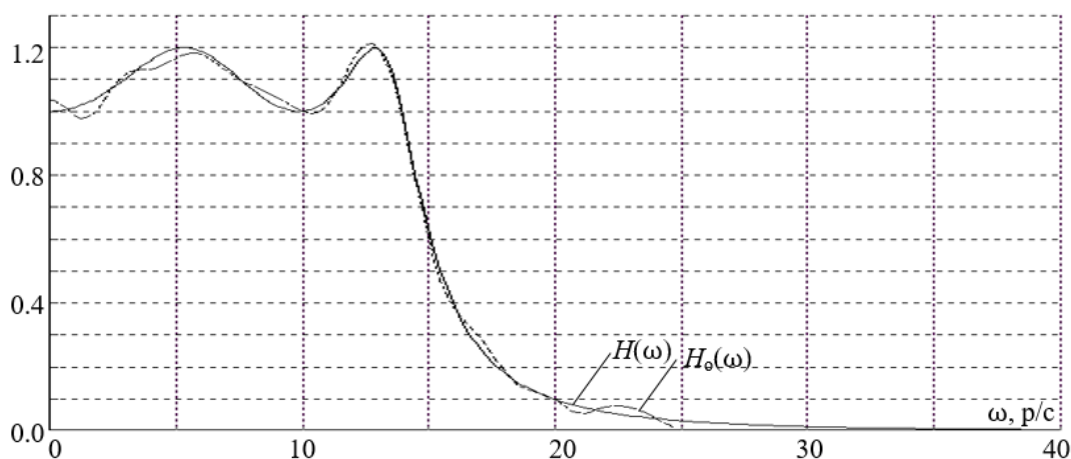


Рис. 9. АЧХ и ее оценка объекта (3)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов функционирования приведенных методов алгоритмического выбора частоты регуляризации следует отметить, что оба метода позволяют устранить недостатки классического МНК и выбирают частоту регуляризации в диапазоне ее квазиоптимальных значений, а погрешности идентификации оказываются очень близкими.

Первый метод требует априори знание эффективной длительности ИХ идентифицируемого объекта. Кроме того, многократное (на каждой  $r$ -ой итерации) использование обратного и прямого дискретных преобразований Фурье существенно увеличивает количество вычислительных

операций и, соответственно, время функционирования алгоритма.

Второй алгоритм лишен этих недостатков и потому его использование представляется более целесообразным.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чикильдин Г. П. Частотная регуляризация при идентификации импульсной характеристики динамических объектов. Мехатроника, 2000. № 6. С. 8–12.
- [2] Чикильдин Г. П. Идентификация динамических объектов: Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. - 88 с.
- [3] Анисимов А. С., Чикильдин Г. П. Алгоритмы идентификации импульсной характеристики: Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. - 93 с.

- [4] Анисимов А. С., Симонов М. М., Чикильдин Г. П. Исследование алгоритмов идентификации импульсной и частотных характеристик: Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. – 49 с.



**Геннадий Павлович Чикильдин**,  
к.т.н., доцент кафедры Автоматики  
НГТУ.

Новосибирск, 530073, просп.  
К.Маркса, д.20  
E-mail: [chikildin@cn.ru](mailto:chikildin@cn.ru)



**Игорь Владимирович Маевский**,  
магистрант группы ААМ-17 кафедры  
Автоматики НГТУ.

Новосибирск, 530073, просп.  
К.Маркса, д.20  
E-mail: [i\\_v\\_maevskiy@ngs.ru](mailto:i_v_maevskiy@ngs.ru)

Статья поступила 22 августа 2018 г.

## The Algorithm for Regularization Frequency Determining by the LSM of Impulse and Frequency Responses Identification

G.P. Chikildin, I.V. Maevskiy

FGBOU VO «Novosibirsk State Technical University», Novosibirsk, Russia. 630090, prosp. Karl Marx, 20.

*Abstract:* The problem of impulse and frequency responses identification on a measured input and output signals by least squares method which based on the convolution integral is considered. As a result of simple transformations (limiting the impulse response duration, replacing the integral by a quadrature formula), solution of the convolution integral is solution a system of linear algebraic equations. Due to the poor matrix conditioning, the presence of methodological and instrumental errors, the LSM estimates of impulse response are very rough. To improve the obtained estimates, frequency regularization is used, the essence of which is zeroing of amplitude-phase response at a certain frequency close to a maximum frequency of an object's transmission bandwidth, and since the identification error have a high-frequency nature. In this paper, two algorithms are proposed for automatically regularization frequency determining. The first of them is based on the calculation of a certain parameter which characterizing the deviation from zero of impulse response estimate on the interval after its effective duration. The parameter is determined in iterative process with a change of the regularization frequency from the set minimum value and the change step. If ratio of the parameter at the current step to its value in the previous step exceeds a certain predetermined value, the iterative process terminates and the regularization frequency is determined. In the second algorithm, after determining amplitude-frequency response estimation, ratio of its amplitude values at two neighboring points (the next one to the previous one) is calculated. The frequency at which the ratio becomes greater than one in the range of small (about 0.1 of a maximum value) values of frequency response is taken as the regularization frequency. The model experiments result on the proposed algorithms for four objects with different oscillation degrees of impulse responses are presented. A comparative analysis of the algorithms for regularization frequency determining is given.

*Keywords:* identification, impulse response, frequency responses, estimates, Convolution Integral, Least Square Method, regularization frequency, algorithm for regularization frequency determining, identification error.

### REFERENCES

- [1] Chikildin G.P. Chastotnaya regulyarizaciya pri identifikacii impulsnoj xarakteristiki dinamicheskikh ob'ektov. Mehatronika, 2000. № 6. s. 8–12.  
[2] Chikildin G.P. Identifikaciya dinamicheskikh ob'ektov: Uchebnoe posobie. - Novosibirsk: izd-vo NGTU, 2017. – 88 s.  
[3] Anisimov A.S., Chikildin G.P. Algoritmy identifikacii impulsnoj harakteristiki: Uchebnoe posobie. - Novosibirsk: izd-vo NGTU, 1996. – 93 s.  
[4] Anisimov A.S., Simonov M.M., Chikildin G.P. Issledovanie algoritmov identifikacii impulsnoj i chastotnyh harakteristik: Uchebnoe posobie. - Novosibirsk: izd-vo NGTU, 1996. – 49 s.



**Gennadiy Pavlovich Chikildin**,  
Department of Automation in  
NSTU, Docent, Candidate of  
Technical Sciences.

Novosibirsk, 530073, prosp.  
K.Marx, 20  
E-mail: [chikildin@cn.ru](mailto:chikildin@cn.ru)



**Igor Vladimirovich Maevskiy**,  
Department of Automation in  
NSTU, Student.

Novosibirsk, 530073, prosp.  
K.Marx, 20  
E-mail: [i\\_v\\_maevskiy@ngs.ru](mailto:i_v_maevskiy@ngs.ru)

The paper was received on August 22, 2018



## V. Информационные технологии.

### Содержание раздела:

- ◇ А.В. Ляпидевский, В.А. Жмудь. Предложения по реализации проекта информационной системы для прогноза кадровых потребностей и управления компетенциями будущих кадров крупного предприятия или корпорации. ПАО «Новосибирский институт программных систем», Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 70–86.

# Предложения по реализации проекта информационной системы для прогноза кадровых потребностей и управления компетенциями будущих кадров крупного предприятия или корпорации

А.В. Ляпидевский<sup>1</sup>, В.А. Жмудь<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Новосибирский институт программных систем», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*Аннотация:* Рассмотрены возможные пути создания информационной системы для стратегического упреждающего управления компетенциями принимаемых на работу сотрудников в крупной организации или корпорации. При решении задач кадрового обеспечения крупного предприятия возникает ряд задач, которые уже невозможно решать путем размещения объявлений о поиске работников или путем привлечения кадровых агентств или службы занятости. Дело в том, что возможные потребности корпорации могут изменяться скачками, которые можно спрогнозировать, и к которым следует готовиться заблаговременно, тогда как возможности указанных методов кадрового обеспечения ограничены по срокам реализации, по количеству предоставляемых таким поиском кадров, и по другим параметрам. В частности, кадровое агентство может лишь анализировать резюме работников, но не несет ответственности за фактическое соответствие компетентности этих кадров их характеристикам, указанным в резюме (портфолио). Из такой системы практически исключены образовательные организации, осуществляющие подготовку кадров. Также сами работодатели исключены из процесса подготовки кадров, они не могут повлиять на квалификацию будущих специалистов, что, безусловно, не отвечает современным требованиям. Предлагаемая концепция создания информационной системы может способствовать созданию условий для целевой подготовки кадров (бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов). В статье дана терминология, рассмотрены основные исходные сведения для создания предварительного технического проекта на пилотную версию системы.

*Ключевые слова:* управление кадрами, корпорация, высшее образование, бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура, докторантура, компетенции, Федеральные образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО)

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство предприятий для пополнения кадрового дефицита пользуется случайным поиском по знакомым, либо через объявления в СМИ, либо услугами внешних кадровых агентств (Служба занятости или коммерческие кадровые агентства).

Такой поиск недостаточно профессионален, кроме того, зачастую эти услуги излишне дороги, поскольку оплата осуществляется за каждую кандидатуру отдельно. Поиском обычно охвачены те кандидатуры, которые не смогли самостоятельно устроиться на работу вследствие разных причин, среди которых в некоторых случаях могут быть недостаточный профессионализм, сложный характер или иные особенности, нежелательные для потенциального работодателя.

Кроме того, сами кадровые агентства набирают своих клиентов по объявлению, по сути являются посредниками между неизвестными им работниками и неизвестными им работодателями, их услуги чисто формальны, они не основаны на глубоком понимании требуемых работодателем компетенций и фактическом наличии таких компетенций у

работника. Это соответствие предположительно должен установить сам работодатель в форме собеседования.

Это формирует риск приема некомпетентных работников и риск невозможности отыскать достаточно компетентных специалистов в требуемые сроки. Эта ситуация «Как есть» создает стартовые условия для разработки информационной системы, которая могла бы содействовать управлению компетенциями кадров крупной организации или корпорации (далее – Корпорация).

Прежде, чем обсуждать возможные пути создания такой системы, следует рассмотреть терминологию, которая должна пониматься одинаково всеми участниками процесса. В следующем разделе эта терминология дается в максимально простых формулировках, стандартные формулировки можно найти с помощью поисковых систем в различных справочниках.

## 1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

**Укрупненная группа специальностей (УГС)** – группа специальностей в соответствии с Федеральными образовательными стандартами Высшего образования (ФГОС ВО 3++), в

шестизначном номере которой совпадают первые две цифры (от 01 до 54) [1].

**Направление подготовки** – название направления подготовки в соответствии с ФГОС ВО 3++, из числа стандартных названий, определяемых шестизначным числом.

**Уровень подготовки** – один из следующих уровней высшего образования: бакалавриат (4 года обучения), либо специалитет (5 лет обучения), либо магистратура (2 года обучения на базе бакалавриата), либо аспирантура (4 года обучения на базе магистратуры или специалитета).

**Учебный план** – документ на 3-4 листах, содержащий название направления, профиля и уровня подготовки, а также перечень преподаваемых дисциплин с указанием часов, зачетных единиц, видов занятий, видов контрольных испытаний и иной важной информации; утверждается образовательным учреждением (на ученом совете).

**Образовательная программа (ОП)** – (здесь) реализуемая образовательной организацией программа подготовки специалистов высшего образования, имеющая соответствующий набор документации, подтверждающей обеспеченность организации всем необходимым для ее реализации и фактическую ее реализацию, подтвержденную результатами экзаменов, выпускных квалификационных работ, тестированием и прочими необходимыми фактами. Организация должна иметь лицензией на образовательную деятельность по этому направлению, действующая ОП должна быть аккредитована в порядке, предусмотренном законодательством [3]. Это означает, что должно быть и кадровое обеспечение, и материальное, и методическое и т.д. При отсутствии аккредитации образовательная организация не вправе выдавать дипломы об образовании, хотя может осуществлять образовательную деятельность на основании имеющейся лицензии.

**Обязательные дисциплины** – дисциплины, обязательно присутствующие в Учебном плане данного направления подготовки (с фиксированным шестизначным номером) в соответствии с ФГОС-3++.

**Вариативные дисциплины** – дисциплины, выбор которых осуществляется образовательной организацией (дисциплины по выбору ОО) или обучающимся (дисциплины по выбору обучающегося).

**Профиль** – (здесь) вариант (один из нескольких) учебного плана, определяемый выбором дисциплин по выбору образовательной организации.

**Индивидуальная образовательная траектория (ИОТ)** – (здесь) – вариант учебного плана, определяемый выбором обучающегося в рамках данного профиля.

**Сетевая форма обучения** – форма обучения, при которой обучающийся часть обучения проходит на другом предприятии, образовательном или научно-производственном.

**Сетевая практико-ориентированная форма обучения** – (здесь) – форма сетевого обучения, при которой обучающийся проходит на втором предприятии только практики (ознакомительную, учебную, производственную, преддипломную или несколько видов этих практик).

**Сетевая межвузовская форма обучения** – (здесь) – форма сетевого обучения, при котором вторым обучающим предприятием является образовательная организация высшего образования, имеющая государственную аккредитацию по данному направлению образования.

**Совместная образовательная программа (СОП)** – образовательная программа для реализации ее в сетевой форме обучения, при которой любая часть обучения может быть реализована в любой из образовательных организаций; применяется для обмена студентами, преподавателями, для иных форм сотрудничества и для программ Двойного диплома.

**Международная СОП** – СОП, в которой одна из образовательных организация является зарубежной.

**Программа двойного диплома (ПДД)** – особый вид СОП, в результате реализации которой обучающийся получает диплом обеих образовательных организаций, в которых осуществлял обучение.

**Международная ПДД** – ПДД, в которой одна из образовательных организация является зарубежной.

**Компетенции** – набор знаний, навыков, умений, способностей и готовностей, приобретаемых обучающимся в результате обучения; формулируются в виде перечня того, что должен знать, уметь, быть готов делать, о чем должен иметь представление выпускник, разделяются на

**ОК** – общекультурные компетенции,

**ОПК** – общепрофессиональные компетенции,

**ПК** – профессиональные компетенции.

**Стандартные компетенции** – компетенции, содержащиеся в стандарте на данное направление подготовки, имеющие формулировку и название в соответствии с этим стандартом (ОК-1, ОК-2, ... ОК-9, ОПК-1, ОПК-2, ...ОПК-9). При этом профессиональные компетенции подразделяются по видам деятельности: Научно-исследовательская деятельность (ПК-1, ПК-2, ПК-3), проектно-конструкторская деятельность (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7), производственно-технологическая деятельность (ПК-8, ...ПК-12), монтажно-наладочная деятельность (ПК-13, ПК-14),

сервисно-эксплуатационная деятельность (ПК-15, ...ПК-18), организационно-управленческая деятельность (ПК-19, ... ПК-22).

**Дополнительные компетенции** – компетенции, которые образовательная организация дополнительно вводит в учебные планы по данным направлениям подготовки в соответствии с реализуемыми профилями, например, ДПК-1, ДПК-2, ДПК-3 и т.д. – дополнительные профессиональные компетенции с номерами 1, 2, 3 и т.д.

**Остаточные знания** (остаточные компетенции) – фактические знания выпускника, сохранившиеся у него после окончания обучения с учетом того, что некоторые полученные сведения им забыты за время обучения вследствие того, что они не были подкреплены или востребованы в ходе дальнейшего обучения и (или) недостаточно твердо усвоены; остаточные знания проверяются тестированием.

**Требуемый минимальный уровень остаточных знаний** – требование, состоящее в том, чтобы обучающийся владел всеми компетенциями из перечня по данному направлению подготовки на уровне не менее чем «удовлетворительно».

**Информационная система (ИС)** – программное средство, которое устанавливается на нескольких компьютерах, имеет доступ к ряду баз данных, в том числе и формируемых из этой системы.

**Роль** – разграничение прав доступа для внесения и извлечения информации при работе и ИС.

**База данных** – информационный ресурс, имеющий необходимые сведения для работы ИС, пополняемый из этой ИС и из сети Интернет, достоверность сведений которого некоторым образом обеспечивается и гарантируется.

## 2. НАШЕ ВИДЕНИЕ ПРОТОТИПА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

### 2.1. Назначение ИС

Прогнозирование перспективных потребностей Корпорации в кадрах высшей квалификации (бакалаврах, специалистах, магистрах, аспирантах, кандидатах наук, докторов наук) и в повышении квалификации имеющихся кадров

Автоматизированный поиск организаций, осуществляющих подготовку требуемых кадров или повышение квалификации по требуемым программам

Автоматизированное сравнение предлагаемых образовательных программ по следующим показателям: стандартные компетенции, дополнительные компетенции, уровень подготовки (включая уровень образовательной организации, конкурс в ней на данную специальность, показатели успешности обуче-

ния и уровень остаточных знаний, показатели публикационной активности и прочее).

Автоматизированное формирование предложений по формированию индивидуальных образовательных траекторий на основе имеющихся сетевых форм обучения или для формирования новых сетевых форм обучения.

Автоматизированное формирование предложений переподготовки кадров с использованием действующих программ повышения квалификации или по предложению создания дополнительных программ повышения квалификации.

Интеграция сведений о фактической реализации кадровых программ с использованием информационной системы с целью ее модификации и улучшения ее пользовательских показателей.

Составление требуемых списков по выборкам по любому используемому показателю (например, по работодателю, по образовательным организациям, срезы по возрастному составу и т.д.).

### Ситуация «Как надо»

Специалист по кадрам (*Human resources manager - HRM*) либо руководитель подразделения, желающий принять на работу новых сотрудников, должен иметь современный инструментарий поиска кадров, позволяющий предварительно оценить компетенции потенциальных кадров с достаточной степенью надежности.

Информационная система должна подсказать специалисту, какие поисковые критерии следует задать из всплывающего списка. Также система должна иметь возможность восприятия компетенций даже при их отсутствии в готовом списке, в этом случае дополнительный текст формируется для восприятия потенциальными пользователями со стороны образовательных организаций.

Информационная система должна допускать работу с пользователями, у которых имеются различные роли: Работодатель (специалист по кадрам), образовательная организация, служба занятости, работник, администратор, модератор.

Работодатель может осуществлять поиск организации, которая готовит необходимых специалистов, используя при поиске ключевые компетенции, ключевые слова (не входящие в стандартные компетенции), названия направлений подготовки, профилей, видов деятельности, специальностей, и т.д. Также Работодатель может использовать такие характеристики, как уровень подготовки, возраст, стаж работы по специальности и иное при необходимости. Также работодатель может внести запись по результатам предыдущих использований ИС, в частности, отметить полезность ее при поиске, высокий уровень принятых специалистов, или недостаточный уровень рекомендованных и принятых

специалистов, недостаточный уровень подготовки в данной образовательной организации и т.п. Работодатель может оставлять запросы и получать на них ответы немедленно или после их обработки. Работодатель должен авторизоваться, получив права доступа (логин, пароль), достоверность авторизации может быть проверена системным администратором или модератором.

Образовательная организация может вносить сведения о реализуемых образовательных программах, о преподаваемых на них дисциплинах, о приобретаемых обучающимися компетенциях, об уровнях образования, о предприятиях для прохождения практик, о реализуемых СОП, ПДД и т.д. на свое усмотрение. Образовательная организация может оставлять запросы на предложения работодателей, а также на предложения по созданию СОП, ПДД, на реализацию практик, и прочее. Образовательная организация должна зарегистрироваться силами своего представителя, получив права доступа (логин, пароль) достоверность авторизации может быть проверена системным администратором или модератором.

Работник может вносить сведения о полученном им образовании, об имеющихся навыках, знаниях, компетенциях, создавать «Портфолио» выполненных им работ, научных, научно-технических, проектно-конструкторских или иных разработках, стаже работы, о своих интересах, предпочтениях, хобби, научных публикациях и прочее на свое усмотрение, кроме информации, не имеющей отношения к возможностям трудоустройства. Предварительно Работник должен ознакомиться с правилами работы с ИС и подтвердить свое согласие с ними и согласие не предпринимать попыток использования ИС в целях, не связанных с трудоустройством (в качестве социальных сетей или иных непрофессиональных формах общения). Работник должен зарегистрироваться, получив права доступа (логин, пароль) достоверность авторизации может быть проверена системным администратором или модератором. Администратор ИС гарантирует нераскрытие персонализированных данных без согласия Работника.

Администратор собственными силами и силами модераторов обеспечивает использование ИС только в профессиональных целях. В случае обнаружения нарушений правил пользования ИС пользователями или нарушения этических норм, Администратор удаляет записи, являющиеся такими нарушениями и направляет нарушителю предупреждение. В случае грубых нарушений правил или этических норм или в случае повторных нарушений Администратор лишает пользователя доступа к ИС.

Сведения из сети Интернет могут использоваться для заполнения предвари-

тельной информации об образовательной организации с использованием официального сайта образовательных организаций. Согласно действующему законодательству, все образовательные организации обязаны предоставлять эти сведения на своих официальных сайтах и несут ответственность за достоверность этих сведений. К таким сведениям относятся информация об образовательной организации, Устав, Лицензия, Свидетельство об аккредитации [3], перечень реализуемых направлений подготовки по УГС и по уровням, с детализацией вплоть до профилей и индивидуальных образовательных траекторий, Учебные планы и календарные планы-графики.

Компетентностные модели не обязательны для предоставления в открытом доступе, поэтому данная информация должна запрашиваться представителями ИС через объявления, через рассылку, личные обращения или иными путями, в соответствии с действующими правовыми нормами.

Портфолио обучающихся могут находиться в открытом доступе, однако, согласно действующим стандартам, образовательная организация должна предоставлять обучающимся возможности создания портфолио, но создание портфолио не является обязательным для обучающихся. Поэтому база портфолио может пополняться лишь путем индивидуальных действий Работника, в том числе путем указания ссылки на страницу с открытым доступом к этому Портфолио на другом внешнем по отношению к ИС сайте. В этом случае в анкете Работника должна появиться иконка, указывающая на наличие портфолио на внешнем сайте в открытом доступе, по клику на эту иконку система должна открывать эту ссылку в дополнительном окне или предлагать скачать эту страницу, например, в виде файла PDF.

### **3. ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЙ СЦЕНАРИЙ ДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛИСТА ПО КАДРАМ**

#### **3.1. Действия Работодателя**

Исходная ситуация: требуется пополнение кадров специалистов с нужным набором компетенций.

Работодатель входит в систему. Нажимает кнопку «Поиск специалистов».

Предоставляются опции поиска: «По образовательной организации», «По направлению подготовки», «По укрупненной группе специальности», «По региону», «По ключевым словам», «Другое».

В каждой из таких опций могут быть кнопки уточнений, например, второй слой поиска может содержать уточнения из первого слоя, «По образовательной организации» -> «По специальности» -> «По профилю» -> «По компетенциям» и так далее.



Также в каждом новом уточнении поиска могут добавляться уточнения, например, «стаж работы по специальности не менее (указать) лет», и т.п.

При поиске по компетенциям Работодатель может выбрать компетенции накапливающимся списком, например, выбрать все или несколько ОК, все или несколько ОПК, все или несколько ПК из заданного направления подготовки, также может просмотреть список дополнительных ПК, которые расположены в алфавитном порядке или по сферам деятельности, или найдены по ключевым словам и т.д.

Также задается уровень подготовки (бакалавр, магистр и т.п.)

Если найдена искомая образовательная программа, то можно посмотреть, когда будет очередной выпуск, сколько студентов можно «заказать». Заказ реализуется в формировании предложения о поступлении на работу.

При создании долговременной заявки (со сроком ожидания более двух лет) формируется возможность заключить договор о целевой подготовке студентов. При создании заявки на срок более четырех лет для бакалавров или более двух лет для магистров формируется возможность направить в Образовательную организацию предложение о создании целевых бюджетных мест для подготовки специалистов для данного Работодателя.

Также Работодатель может с помощью системы отыскать партнера и сформировать предложение о прохождении практик для будущих работников.

Также Работодатель, который уже получал специалистов с помощью ИС, может сформировать отзыв о системе и отзыв о специалисте.

### 3.2. Действия Образовательной организации

Исходная ситуация: требуется отыскание Работодателя для подготавливаемых кадров или для организации практик.

Представитель ОО входит в систему. Нажимает кнопку «Поиск Работодателей».

Предоставляются опции поиска: «По направлению подготовки», «По укрупненной группе специальности», «По региону», «По ключевым словам», «Другое».

В каждой из таких опций могут быть кнопки уточнений, например, «Минимальная заработная плата», «Соцпакет», «Обеспечение общежитием» и другое.

Также в каждом новом уточнении поиска могут добавляться уточнения.

При поиске по компетенциям Представитель ОО может выбрать компетенции накапливающимся списком, например, выбрать все или несколько, также может просмотреть список требуемых дополнительных ПК, которые расположены в алфавитном порядке или по сферам деятельности, или найдены по ключевым словам и т.д.

Также задается уровень подготовки (бакалавр, магистр и т.п.)

Если найден искомый Работодатель, то можно сформировать предложение о размещении на практику, или о заключении договора о целевом наборе и т.п.

Также Представитель ОО может с помощью системы отыскать партнера для СОП.

Также Представитель ОО может предложить Работодателю, который уже получал специалистов с помощью ИС, сформировать отзыв о Работнике, а Работнику заполнить страничку «История успеха» на сайте своего ОО.

### 3.3. Действия Работника

Исходная ситуация: требуется отыскание Работодателя для трудоустройства.

Работник регистрируется и после проверки его данных Модератором он входит в систему. Нажимает кнопку «Поиск Работодателей».

Предоставляются опции поиска: «По направлению подготовки», «По укрупненной группе специальности», «По региону», «По ключевым словам», «Другое».

В каждой из таких опций могут быть кнопки уточнений, например, «Минимальная заработная плата», «Соцпакет», «Обеспечение общежитием» и другое.

Также в каждом новом уточнении поиска могут добавляться уточнения.

Также задается уровень подготовки (бакалавр, магистр и т.п.)

Если найден искомый Работодатель, то можно направить Резюме или заполнить анкету, далее нажать кнопку «Проверить». Автоматическая проверка выявляет незаполненные обязательные позиции или неверно заполненные данные. Если ошибок не найдено, есть кнопка «Сохранить данные» и есть кнопка «Отправить работодателю». Также есть кнопка «Выставить на сайте для всех работодателей», при этом Работник может запретить некоторым работодателям видеть эту информацию, для чего имеется «Черный список работодателей». Также работник может ограничить поиск Работодателей по региону, по отрасли и так далее.

### 3.4. Действия кадрового агентства или службы занятости

Действия кадрового агентства или службы занятости могут осуществляться на основе контракта с составлением ограниченного перечня возможности действий этого участника. В пробной версии эта опция не предусматривается.

## 4. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Основные задачи проекта состоят в том, чтобы ситуацию «Как есть» превратить в ситуацию «Как надо». Для этого необходимо разработать и внедрить все недостающие компоненты проекта. Предлагаемая структурная

схема взаимодействия системы с пользователями, имеющими различные роли, показана

на Рис. 1, сценарии работы участников с различными ролями – на Рис. 2 – Рис. 4.

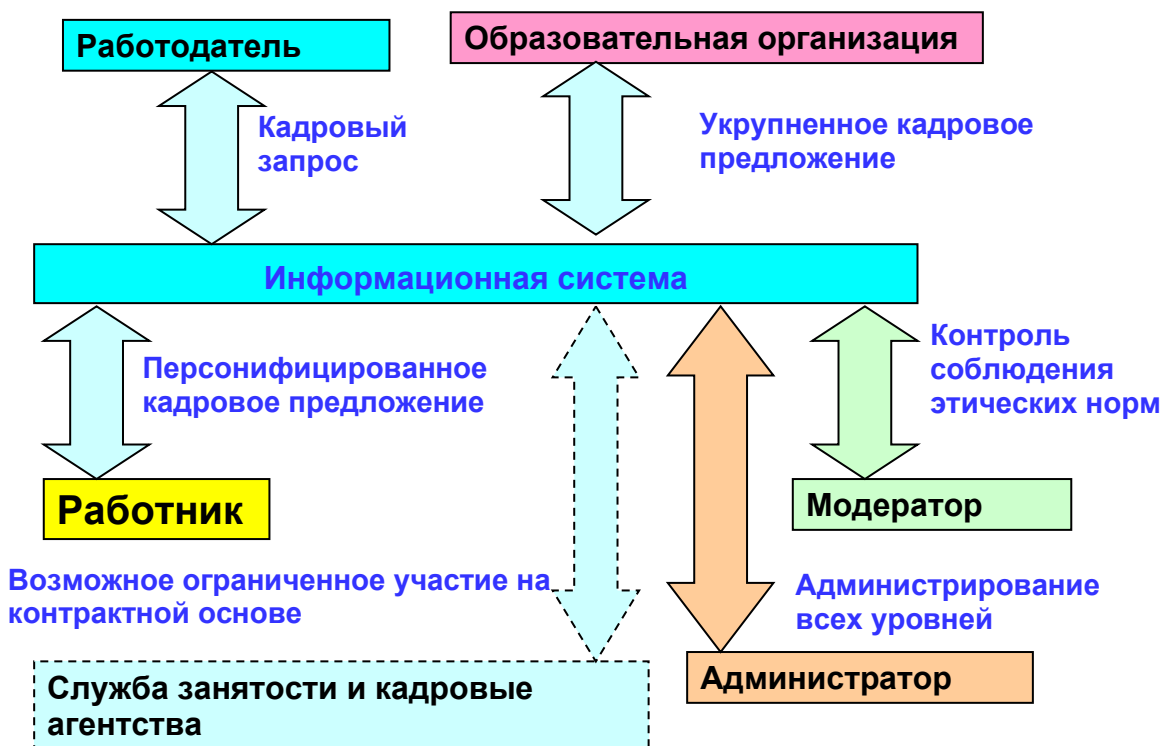


Рис. 1. Предлагаемая структурная схема взаимодействия информационной системы с пользователями, имеющими различные роли

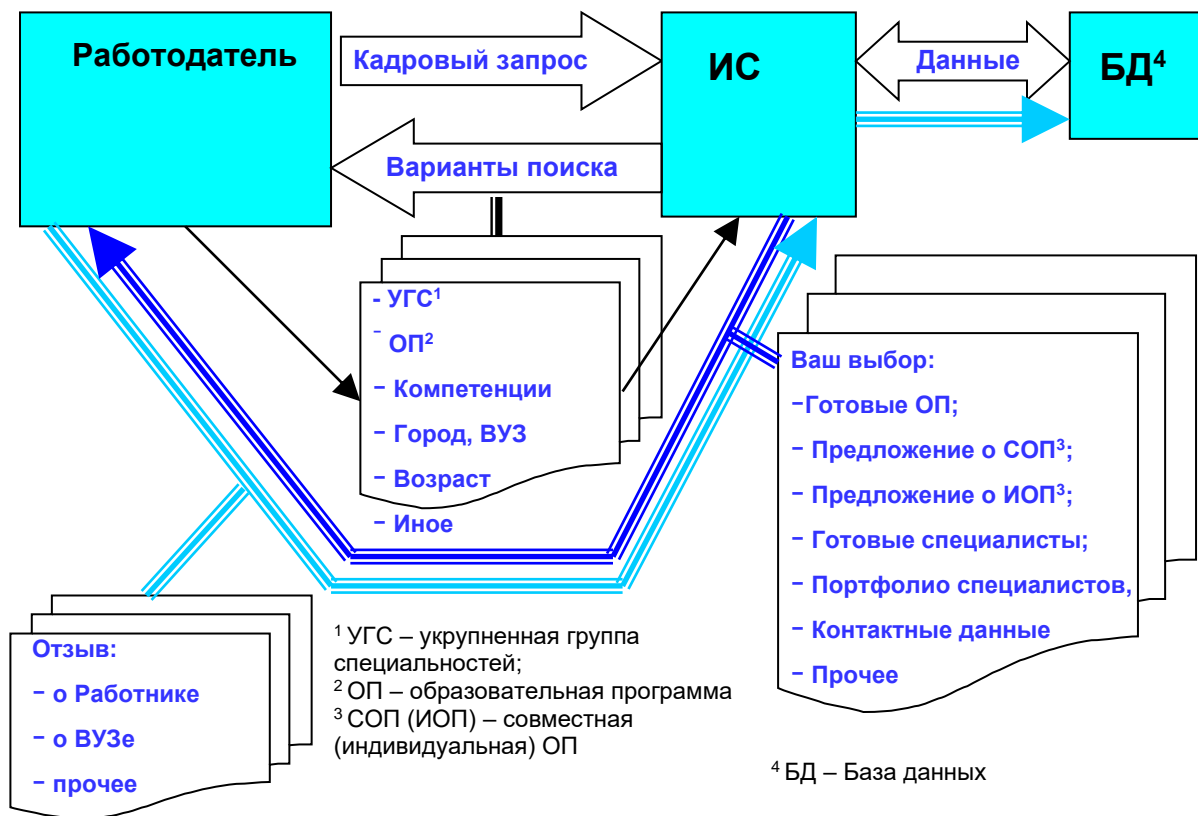


Рис. 2. Сценарий работы Работодателя

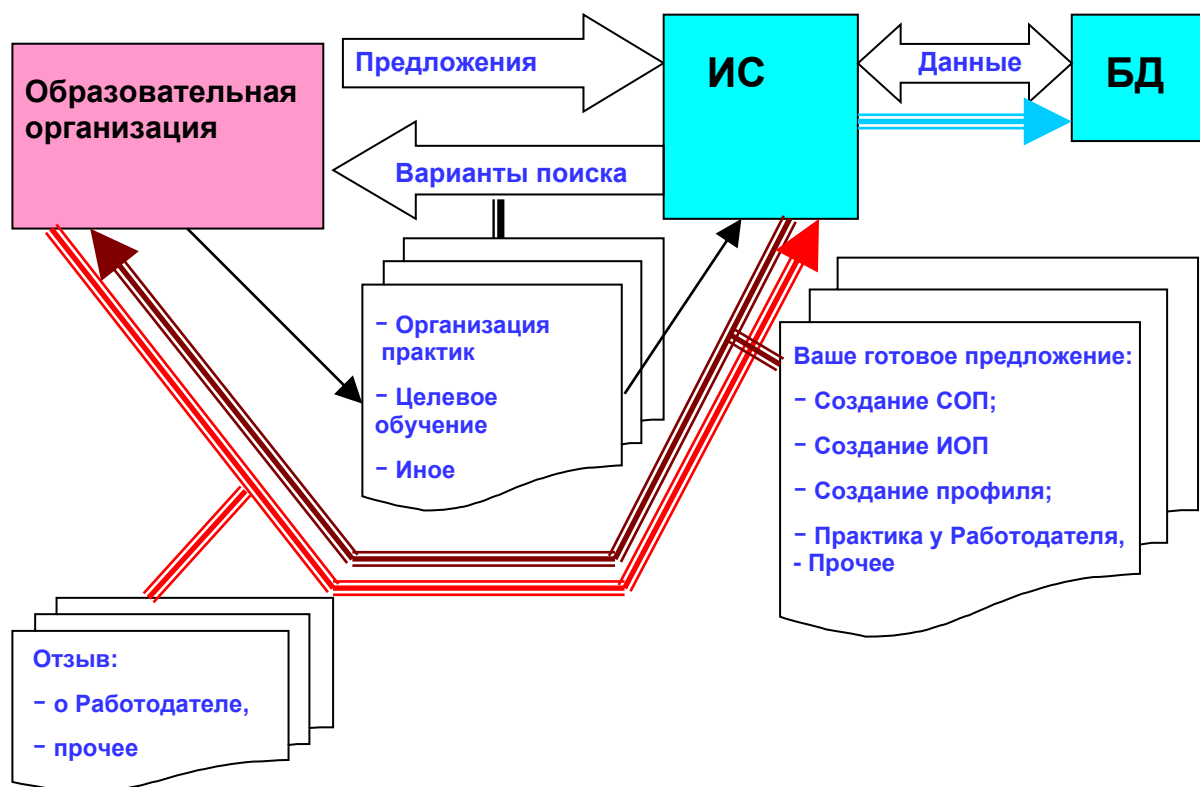


Рис. 3. Сценарий работы Образовательной организации

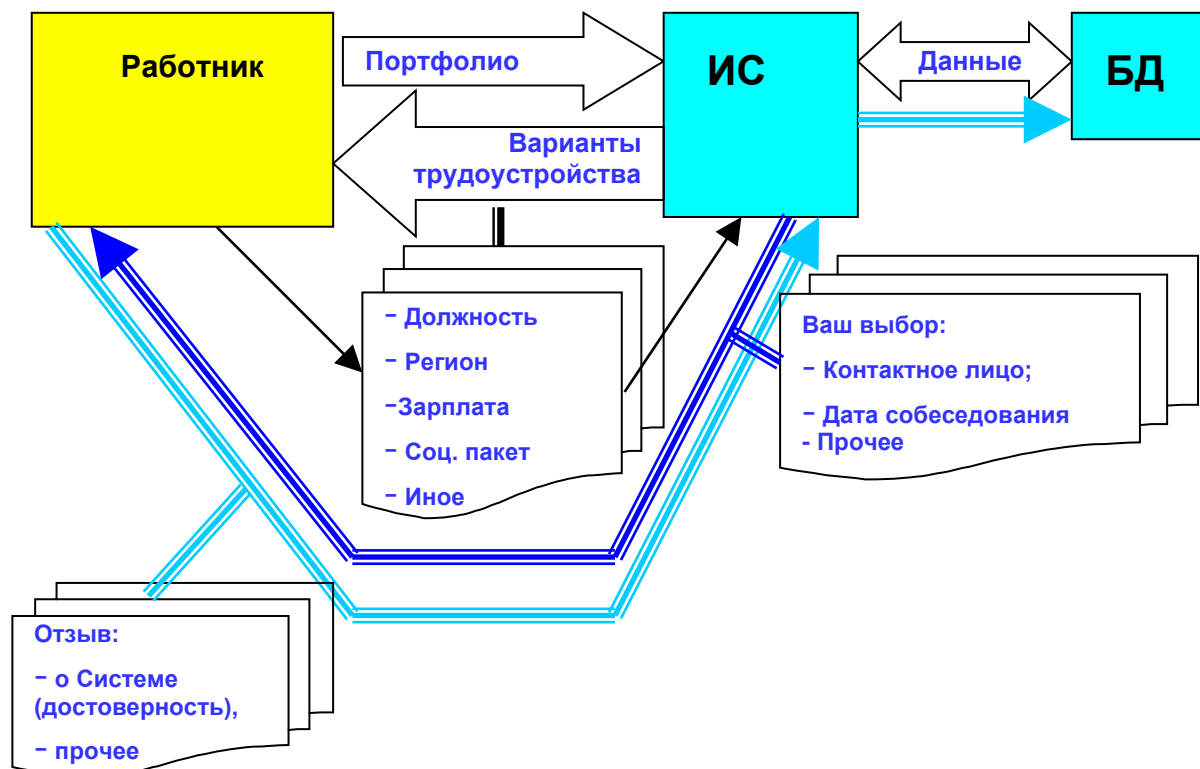


Рис. 4. Сценарий работы Работника

## 5. ПРИМЕР РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ И ФОРМАЛЬНЫЕ ТРУДНОСТИ

### 5.1. Постановка задачи

Предположим, кадровое агентство Корпорации ищет выпускников. Прежде всего,

следует определиться с требуемым уровнем подготовки – бакалавриата или магистратуры. Информационная система должна подсказать, что бакалавр – это выпускник с высшим образованием, осуществивший обучение на протяжении четырех академических лет, т.е.

восемь семестров, а магистр – это выпускник бакалавриата, осуществивший дополнительное обучение после того, как получил степень бакалавра, еще два дополнительных года в магистратуре, после чего получил дополнительный диплом.

Некоторые специалисты по кадрам рассматривают такого выпускника с двумя высшими образованиями.

### 5.2. Варианты результатов поиска

Например, если воспользоваться официальным сайтом «Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования» [2], можно обнаружить, что для бакалавров имеется шесть направлений подготовки в рамках одной УГС «Управление в технических системах», причем, одно их направления по названию совпадает с названием УГС, т.е. «270304 Управление в технических системах», а другие называются, соответственно, «270301 Стандартизация и метрология», «270302 Управление качеством», «270303 Системный анализ и управление», «270305 Инноватика».

С этого сайта может быть загружен, например, образовательный стандарт «Бакалавриат. Направление подготовки 27.03.03. Системный анализ и управление», а также «Бакалавриат. Направление подготовки 27.03.04. Управление в технических системах». Эти оба направления относятся к одной УГС, отличаются лишь в последней цифре шифра. Каким образом может специалист по кадрам сопоставить эти два разных направления подготовки? Безусловно, следует найти разницу в стандартах, после этого надо будет найти разницу в образовательных программах, реализуемых по выбранному направлению подготовки в различных образовательных организациях.

Согласно стандарту по направлению 270303, «Область профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, включает область техники и технологии, которая требует проведения конструирования и эксплуатации с применением принципов, методов, способов и средств человеческой деятельности на основе системного анализа, управления, моделирования, производства и эксплуатации технических систем, объектов, приборов и устройств различного назначения».

Согласно стандарту по направлению 270304, «Область профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, включает проектирование, исследование, производство и эксплуатацию систем и средств управления в промышленной и оборонной отраслях, в экономике, на транспорте, в сельском хозяйстве, в медицине; создание современных программных и аппаратных средств

исследования и проектирования, контроля, технического диагностирования и промышленных испытаний систем автоматического и автоматизированного управления».

Формально получается, что направление 270304 охватывает больше сфер деятельности выпускника, следовательно, это направление подготовки дает, как следует из отличий стандартов, более универсальное образование.

Сравним объекты профессиональной деятельности.

### 5.3. Результаты сравнения ближайших стандартов

Согласно стандарту по направлению 270303, «Объектами профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, являются системно-аналитические, информационно-управляющие, конструкторско-технологические, проектирующие технологии и системы, которые требуют исследования, анализа, синтеза, программирования и управления на основе системно-аналитического подхода».

Согласно стандарту по направлению 270304, «Объектами профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, являются системы автоматизации, управления, контроля, технического диагностирования и информационного обеспечения, методы и средства их проектирования, моделирования, экспериментального исследования, ввода в эксплуатацию на действующих объектах и технического обслуживания».

Согласно стандарту по направлению 270303:

«Виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу бакалавриата:

научно-исследовательская деятельность;  
 проектно-технологическая деятельность;  
 проектно-конструкторская деятельность;  
 эксплуатационно-технологическая деятельность».

Согласно стандарту по направлению 270304,

«Виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу бакалавриата:

научно-исследовательская;  
 проектно-конструкторская;  
 проектно-технологическая;  
 монтажно-наладочная;  
 сервисно-эксплуатационная;  
**организационно-управленческая».**

Согласно стандарту по направлению 270304:

«Виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу бакалавриата:

научно-исследовательская;  
проектно-конструкторская;  
проектно-технологическая;  
монтажно-наладочная;  
сервисно-эксплуатационная;  
**организационно-управленческая».**

Из этого следует, что направление 270304 готовит не только технических специалистов для непосредственной производственной, эксплуатационной или исследовательской деятельности, но также и будущих руководителей по этой деятельности, чего не предусмотрено в направлении 270303.

Обратимся к компетенциям.

Согласно стандарту по направлению 270303, раздел 5, читаем следующее.

«5.1. В результате освоения программы бакалавриата у выпускника должны быть сформированы общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции». Соответствующий раздел в стандарте по направлению 270304 идентичен.

Далее следуют наборы компетенций.

В стандарте по направлению 270303 читаем:

«5.2. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими общекультурными компетенциями:

способностью использовать основы философских знаний, анализировать главные этапы и закономерности исторического развития для осознания социальной значимости своей деятельности (ОК-1);

способностью использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов деятельности в различных сферах (ОК-2);

способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-3);

способностью работать в команде, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОК-4);

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-5);

способностью использовать общеправовые знания в различных сферах деятельности (ОК-6);

способностью поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-7);

способностью использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций (ОК-8)».

Итого представлено восемь общекультурных компетенций.

В стандарте по направлению 270304 их девять, на одну больше. Сформулированы они более лаконично.

ОК-1 приблизительно совпадают, но в стандарте 270304 более лаконичная формулировка.

Остальные компетенции совершенно не совпадают.

Для ОК-2 направления 270303 более похожей является ОК-3 направления 270304.

Для ОК-3 направления 270303 совершенно идентичной является ОК-5 направления 270304.

Для ОК-4 направления 270303 совершенно идентичной является ОК-6 направления 270304.

Для ОК-5 направления 270303 совершенно идентичной является ОК-7 направления 270304.

Для ОК-6 направления 270303 более похожей, почти идентичной (но не дословно) является ОК-4 направления 270304.

Для ОК-7 направления 270303 более похожей, почти идентичной (но не дословно) является ОК-8 направления 270304.

Для ОК-8 направления 270303 идентичной является ОК-9 направления 270304.

«5.2. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими общекультурными компетенциями:

способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);

способностью анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2);

способностью использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-3);

способностью использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4);

способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-5);

способностью работать в команде, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОК-6);

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

способностью использовать методы и средства физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

способностью использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций (ОК-9)».

В стандарте по направлению 270303 отсутствует аналог ОК-2 из стандарта по направлению 270304, т.е. выпускники по этому направлению не обладают «**способностью анализировать основные этапы и закономерности исторического развития**



общества для формирования гражданской позиции». По-видимому, эта компетенция в числе прочих отличий дает дополнительный вид деятельности – **организационно-управленческая.**

Вручную осуществить такое сравнение крайне сложно. Требуется информационная система, которая сразу выдаст отличия. Тем более что проанализировать надо не два и не три, а несколько десятков направлений подготовки, которые по названию достаточно близки, а требуется выбрать что-то более подходящее именно для этого работодателя. Требуется информационная система, как видим: С таким «путеводителем» кадровым агентствам и Работодателю, по-видимому, будет проще ориентироваться в ситуации.

Далее следует сравнить общепрофессиональные компетенции, что намного важнее, а также необходимо сравнить профессиональные компетенции, что еще более важно.

Стандарт по направлению 270303 дает следующие профессиональные компетенции.

«5.3. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

готовностью применять методы математики, физики, химии, системного анализа, теории управления, теории знаний, теории и технологии программирования, а также методов гуманитарных, экономических и социальных наук (ОПК-1);

способностью применять аналитические, вычислительные и системно-аналитические методы для решения прикладных задач в области управления объектами техники, технологии, организационными системами, работать с традиционными носителями информации, базами знаний (ОПК-2);

способностью представлять современную научную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-3);

способностью применять принципы оценки, контроля и менеджмента качества (ОПК-4);

способностью использовать принципы руководства и администрирования малых групп исполнителей (ОПК-5);

способностью к проведению измерений и наблюдений, составлению описания исследований, подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, составлению отчета по заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок (ОПК-6);

способностью к освоению новой техники, новых методов и новых технологий (ОПК-7);

способностью участвовать в разработке организационно-технической документации, выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ОПК-8)».

Эти компетенции также не совпадают с

профессиональными компетенциями направления 270304.

«Способностью представлять современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1)» - это почти совпадает с ОПК-3 стандарта 270303.

«Способностью выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2)» - полостью эквивалентной компетенции в стандарте 270303 не найдено. Действительно, готовность применять какие-либо методы или способность применять некоторые методы совершенно не тождественны способности выявлять сущность проблем. Разница между этими формулировками разительна, как разница между тем, чтобы уметь чем-либо пользоваться (в принципе), или уметь решить задачу с использованием чего-то. Как разница между умением держать в руках инструмент и умением с помощью этого инструмента решать практически все возникающие задачи, которые можно решить с помощью этого инструмента.

«Способностью решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей (ОПК-3)». Эта компетенция не имеет подобных в наборе для направления 270303, она удивительно конкретна и уникальна.

«Готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки инженерно-конструкторской документации (ОПК-4)». Здесь термин «готовность» обоснован и важен в сравнении с термином «способность», который стоит в других компетенциях. Это указывает на то, что специалист готов применять даже такие средства редактирования, которые он пока еще не способен применять вследствие того, что пока он обучался подобным видам деятельности эти методы и средства могли просто не существовать. Речь идет о современных средствах, которые современны моменту. То есть если специалист подготовлен 10 или 20 лет тому назад, но он сохранил компетенцию «готовность применять», то появившиеся новые средства редактирования должны быть им освоены, поскольку он «готов» их применять, следовательно, самостоятельно изучать, так как они стали «современными».

«Способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5)». Также в стандарте направления 270303 подобная компетенция отсутствует.

«Способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6)».

«Способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7)».

«Способностью использовать нормативные документы в своей деятельности (ОПК-8)».

«Способностью использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности (ОПК-9)».

Как видим, в этом стандарте на одну компетенцию больше. Возможность самостоятельно оценить отличие несовпадающих компетенций мы предоставляем нашим читателям.

Далее целесообразно сравнить профессиональные компетенции, которые наиболее важны.

Стандарт по направлению 270303 дает следующий их перечень.

«5.4. Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду (видам) профессиональной деятельности, на который (которые) ориентирована программа бакалавриата:

**научно-исследовательская деятельность:**

способностью принимать научно-обоснованные решения на основе математики, физики, химии, информатики, экологии, методов системного анализа и теории управления, теории знаний, осуществлять постановку и выполнять эксперименты по проверке их корректности и эффективности (ПК-1);

способностью формировать презентации, научно-технические отчеты по результатам работы, оформлять результаты исследований в виде статей и докладов на научно-технических конференциях (ПК-2);

**проектно-конструкторская деятельность:**

способностью разрабатывать технические задания по проектам на основе профессиональной подготовки и системно-аналитических исследований сложных объектов управления различной природы (ПК-3);

способностью применять методы системного анализа, технологии синтеза и управления для решения прикладных проектно-конструкторских задач (ПК-4);

способностью разрабатывать методы моделирования, анализа и технологии синтеза процессов и систем в области техники, технологии и организационных систем (ПК-5);

способностью создавать программные комплексы для системного анализа и синтеза сложных систем (ПК-6);

**проектно-технологическая деятельность:**

способностью разрабатывать проекты компонентов сложных систем управления, применять для разработки современные инструментальные средства и технологии программирования на основе профессиональной подготовки (ПК-7);

способностью проектировать элементы систем управления, применять современные инструментальные средства и технологии программирования на основе профессиональной подготовки, обеспечивающие решение задач системного анализа и управления (ПК-8);

**эксплуатационно-технологическая деятельность:**

способностью эксплуатировать системы управления, применять современные инструментальные средства и технологии программирования на основе профессиональной подготовки, обеспечивающие решение задач системного анализа и управления (ПК-9)».

Тем самым имеются виды деятельности, при подготовке к которым стандарт требует

обеспечения только одной обязательной компетенции, например, для эксплуатационно-технологической деятельности достаточно только ПК-9, остальные не требуются. В стандарте по направлению 270304 не найдено ни одного вида деятельности, для которого было бы достаточно лишь одной профессиональной компетенции. Это – существенное отличие, оценить которое мы также предоставляем возможность нашим читателям.

Стандарт по направлению 270304 дает следующий перечень компетенций для научно-исследовательской деятельности.

**«научно-исследовательская деятельность:**  
 способностью выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных и технических средств (ПК-1);  
 способностью проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления (ПК-2);  
 готовностью участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок (ПК-3)».

В этом варианте на одну компетенцию больше (ПК-2), а последние компетенции приблизительно идентичны с тем отличием, что в ПК-2 по направлению 270303 указана еще способность формировать презентации, о чем в ПК-3 по направлению 270304 не сказано. Зато в ПК-2 для направления 270304 предполагается способность проводить вычислительные эксперименты и получать математические модели, что отсутствует в направлении 270303. Вместе с тем, в стандарте по направлению 270303 предполагается способность принимать научно-обоснованные решения, что отсутствует в стандарте по направлению 270304.

Стандарт по направлению 270304 дает следующий перечень компетенций для проектно-конструкторской деятельности.

Количество компетенций для этого вида деятельности в обоих стандартах одинаковое, но сами компетенции различны.

**«проектно-конструкторская деятельность:**  
 готовностью участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания систем и средств автоматизации и управления (ПК-4);  
 способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования систем и средств автоматизации и управления (ПК-5);  
 способностью производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматизации, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием (ПК-6);  
 способностью разрабатывать проектную документацию в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями (ПК-7)».

Понятие «проектная документация» включает в себя и технические задания, но также и много другой документации, включая технический проект, эскизный проект, перечень стандартных комплектующих изделий и используемых стандартных программных средств, перечень разрабатываемых изделий и разрабатываемых программных средств, программу и методику испытаний, инструкции программиста, инструкции пользователя и многое другое, в соответствии с действующими стандартами о проектной документации. Следовательно, компетенция ПК-7 в стандарте по направлению 270304 существенно больше, чем компетенция ПК-3 в стандарте по направлению 270303. Кроме того, перечень компетенция по этому виду деятельности в стандарте по направлению 270304 содержит такие важные компетенции, как способность производить расчеты и проектировать отдельные блоки и устройства для создаваемых систем.

Несколько чересчур амбициозно сформулированы ПК-5 и ПК-6 в стандарте для направления 270303 для этого вида деятельности. Действительно, способность разрабатывать методы моделирования, анализа и синтеза означает, что каждый выпускник по этому направлению может создавать новые методы моделирования. Едва ли методов моделирования может быть настолько много, что каждый выпускник может пополнять их количество. Скорее всего, методов моделирования, если говорить о математическом моделировании, не так уж много в принципе, едва ли более десятка, ну в лучшем случае полтора десятка. Применительно к какой-то одной заданной задаче их не так уж много, практически все они известны, о создании новых методов моделирования говорить не приходится. Создание новых



программных комплексов, безусловно, не ограничено по количеству, но сама эта работа для одного специалиста чрезвычайно велика, правильнее было бы говорить об участии в создании программных комплексов, или, при наличии достаточного опыта, о готовности руководить созданием программных комплексов, что, впрочем, относится уже к организационно-управленческой деятельности, которая для направления 270303 не предусмотрена.

Стандарт по направлению 270304 дает следующий перечень компетенций для производственно-технологической деятельности.

**«производственно-технологическая деятельность:**  
 готовностью к внедрению результатов разработок средств и систем автоматизации и управления в производство (ПК-8);  
 способностью проводить техническое оснащение рабочих мест и размещение технологического оборудования (ПК-9);  
 готовностью к участию в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию систем и средств автоматизации и управления (ПК-10);  
 способностью организовывать метрологическое обеспечение производства систем и средств автоматизации и управления (ПК-11);  
 способностью обеспечить экологическую безопасность проектируемых устройств автоматизации и их производства (ПК-12)».

В отличие от стандарта для направления 270303, здесь, в стандарте для направления 270304, речь идет не о «проектно-технологической деятельности», а о «производственно-технологической деятельности». Т. е. возникает производство разработанной продукции как таковое, хотя проектирование никуда не исчезает, так как оно имеется в «проектно-конструкторской деятельности». Такая разбивка на виды деятельности видится более обоснованной.

Стандарт по направлению 270304 содержит дополнительный вид деятельности, монтажно-наладочную деятельность, и дает следующий перечень компетенций для нее.

**«монтажно-наладочная деятельность:**  
 готовностью участвовать в разработке и изготовлении стендов для комплексной отладки и испытаний программно-аппаратных комплексов (ПК-13);  
 способностью участвовать в монтаже, наладке, настройке, проверке и сдаче опытных образцов программно-аппаратных средств и комплексов автоматизации и управления (ПК-13)».

Стандарт по направлению 270304 содержит еще один несколько отличающийся вид деятельности, сервисно-эксплуатационную деятельность (в стандарте по направлению 270303 близкая деятельность названа

эксплуатационно-технологической), и дает следующий перечень компетенций для нее.

**«сервисно-эксплуатационная деятельность:**  
 способностью настраивать управляющие средства и комплексы и осуществлять их регламентное эксплуатационное обслуживание с использованием соответствующих инструментальных средств (ПК-15);  
 готовностью осуществлять проверку технического состояния оборудования, производить его профилактический контроль и ремонт заменой модулей (ПК-16);  
 готовностью производить установку и настройку системного, прикладного и инструментального программного обеспечения систем автоматизации и управления (ПК-17);  
 способностью разрабатывать инструкции для обслуживающего персонала по эксплуатации используемого технического оборудования и программного обеспечения (ПК-18)».

Вывод о том, насколько этот перечень компетенций ПК-15 – ПК-18 для направления 270304 полней и глубже, чем единственная компетенция ПК-9 для направления 270303, совершенно очевиден. Здесь и настройка, и регламентное обслуживание, и проверка технического состояния, и профилактический контроль, установка, и даже разработка инструкций по эксплуатации, тогда как там только эксплуатация и применение средств и технологий программирования.

Наконец, организационно-управленческая деятельность. Наличие ее в стандарте для направления 270304 при отсутствии ее или ее аналога в направлении 270303 уже говорит о многом. Предусматриваются следующие компетенции для этого вида деятельности.

**«Организационно-управленческая деятельность:**  
 Способностью организовывать работу малых групп исполнителей (ПК-19);  
 Готовностью участвовать в разработке технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет) и установленной отчетности по утвержденным формам (ПК-20);  
 Способностью выполнять задания в области сертификации технических систем, средств, процессов, оборудования и материалов (ПК-21);  
 Способностью владеть методами профилактики производственного травматизма, профессиональных заболеваний, предотвращения экологических нарушений (ПК-22)».

Далее оба стандарта содержат идентичные требования по включению в программы подготовки дисциплин, освоение которых дает обучаемому требуемые компетенции.

Кадровому агентству и Работодателю важно понимать, что если стандарт предполагает несколько видов деятельности, то конкретное направление подготовки может быть ориентировано только на один вид

деятельности, в некоторых случаях он может быть ориентирован на два вида деятельности, и крайне редко на более чем два вида деятельности.

«5.5. При разработке программы бакалавриата все общекультурные и общепрофессиональные компетенции, а также профессиональные компетенции, отнесенные к тем видам профессиональной деятельности, на которые ориентирована программа бакалавриата, включаются в набор требуемых результатов освоения программы бакалавриата.

5.6. При разработке программы бакалавриата организация вправе дополнить набор компетенций выпускников с учетом направленности программы бакалавриата на конкретные области знания и (или) вид (виды) деятельности.

5.7. При разработке программы бакалавриата требования к результатам обучения по отдельным дисциплинам (модулям), практикам организация устанавливает самостоятельно с учетом требований соответствующих примерных основных образовательных программ».

Если образовательная организация попытается включить все виды деятельности в рамках одного направления подготовки, она совершит ошибку, поскольку обучить всем компетенциям из этого списка невозможно. Лучший путь состоит в том, чтобы открыть несколько профилей в рамках одного направления, каждый из таких профилей может ориентироваться на один, два или (в исключительных случаях) более видов деятельности выпускников.

Например, академическая направленность профиля логично сочетает научно-исследовательскую и организационно-управленческую деятельность. Сюда можно добавить и проектно-конструкторскую деятельность, хотя это будет уже многовато. Но, например, добавление сюда монтажно-наладочной или сервисно-эксплуатационной деятельности видится необоснованным решением. Хотя некоторые виды компетенций включать в перечень компетенция по реализуемому направлению подготовки не возбраняется, должно быть целостное видение того, для какой деятельности подготавливаются выпускники данной образовательной программы.

С этой целью образовательным организациям рекомендуется иметь документ, называемый «Общая характеристика образовательной программы» (ОХОП), хотя такой документ не является обязательным. Ключевым содержанием этого документа является таблица, в которой каждый столбец соответствует какой-то компетенции, каждая строка соответствует какой-либо дисциплине из учебного плана. В этой таблице должны

присутствовать все компетенции, которые должен получить студент, также должны присутствовать все дисциплины, которые предусмотрены учебным планом, включая практики и выпускную квалификационную работу. В этой таблице не должно быть полностью пустых столбцов (поскольку это означало бы, что есть такая компетенция, за которую не ответственна ни одна дисциплина, то есть студент не приобретает ее изучением хотя бы одной дисциплины из программы). Также не должно быть пустых строк, поскольку это означало бы, что данная дисциплина не дает студенту никакой компетенции. Несколько плюсов в одном столбце говорит о том, что данная компетенция формируется изучением нескольких дисциплин, а несколько плюсов в одной строке говорит о том, что данная дисциплина способствует формированию нескольких компетенций. Обе ситуации нормальны, они имеют место в правильно составленных таблицах.

#### 5.4. Формальные трудности

Как видим, одна из существенных формальных трудностей состоит в том, что приблизительно одинаковые компетенции даже в наиболее близких образовательных стандартах называются по-разному и содержат несовпадающие формулировки.

Как минимум, следует создать надстройку, которая осуществляла бы поиск совпадающих компетенций и приблизительное отнесение их к одному классу (кластеризацию). Намного проще было бы, если бы совпадающие компетенции имели одинаковые номера и были бы сформулированы идентично.

Это же относится к видам деятельности, поскольку, по-видимому, авторы стандартов не имели в виду существенного отличия между понятиями, например, «эксплуатационно-технологическая деятельность» и «сервисно-эксплуатационная деятельность». Однако следует иметь в виду, что даже если отличия предопределены разным авторством, то далее на эти стандарты опирались различные разработчики образовательных программ, и действовал принцип «что заказали, то и получили», то есть даже различия в названиях, которые можно условно считать синонимами, дали более существенное различие в компетенциях, и еще более существенное различие в читаемых дисциплинах и в акцентах, которые в них сделаны.

Поэтому требуется не только отнесение к одинаковым кластерам, но и сохранение исходных формулировок, а также индикация тонких отличий, чтобы Работодатель самостоятельно смог понять эти тонкости и принять решение, насколько они важны.



## 6. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ (ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ) КОМПЕТЕНЦИИ

Дополнительные компетенции, о которых сказано в пункте 5.6 ФГОС3+, составляют дополнительную проблему для Работодателя, поскольку они отличаются не только в каждом направлении подготовки, но и в каждой образовательных организациях, и даже внутри образовательных организаций, если они реализуют образовательные программы по одинаковым стандартам, но по разным профилям, например, на различных кафедрах. Как мы видим, даже формулировки в рамках стандартов от того же самого Министерства зачастую имеют недостаточно обоснованные отличия в формулировках, а здесь Работодатель будет иметь дело с формулировками, разработанными отдельными кафедрами, где субъективность видения проблемы отдельными преподавателями даст намного более заметный эффект.

Недостаток компетенций даже в рамках стандарта состоит в том, что они недостаточно формализованы. Например, можно было бы более четко определить разницу между тем, в чем работник компетентен «участвовать» в качестве одного из соисполнителей (и, следовательно, не персонально отвечать за окончательный результат, а иметь лишь долевую ответственность), и тем, что работник компетентен выполнять персонально с личной ответственностью за результат. В этом смысле «готовность к участию в работе» следует признать относительно слабой компетенцией в сравнении, например, со «способностью обеспечить» какой-либо результат. По-видимому, желательно было бы по каждому виду деятельности предусмотреть не только такие компетенции, где от будущего работника требуется лишь «готовность участвовать», но и такие, где от него требуется «способность реализовать», или «обеспечить», «выполнить» и т.д.

Еще более слабой формулировкой следует признать «иметь представление о...», такие формулировки также встречаются.

Например, «способность использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций» формально вовсе не гарантирует, что данный работник в чрезвычайной ситуации действительно использует эти приемы. Быть способным что-то сделать не означает, что это действие будет сделано при необходимости. Многие люди «способны» что-то сделать из того, что они все-таки не делают. Тем более, «готовность» что-либо сделать – это даже далеко от способности. Человек может быть способен защитить диссертацию, но не делает этого. Другой – «готов» это сделать, но не только не делает, но и

не способен это сделать, хотя и «готов», в смысле «согласен взяться за эту работу».

По-видимому, компетенция «иметь навыки» какой-то деятельности была бы более сильной, в том смысле, что она обязывает образовательную организацию не только дать необходимые знания по такой деятельности, но и на практике научить такой деятельности, а также осуществить контроль ее эффективности. Именно поэтому в критических случаях Работодатель предпочитает принять на работу работника с опытом (положительным, который подтвержден отзывом работодателя, или, по меньшей мере, ссылкой в резюме работника на выполненные контракты с их номерами и сроками работ, и т.п.).

По этой причине простой поиск по образовательным стандартам явно недостаточен.

Требуется учет дополнительных компетенций, учет фактически подтвержденных знаний и умений, результатов ранее выполненных работ, т.е. резюме в полном смысле этого слова.

Следовательно, информационная система должна предоставить возможности интегрирования готовых резюме с сайтов кадровых агентств и службы занятости, а также с сайтов образовательных организаций (если таковые резюме там имеются). Кроме того, информационная система должна предоставлять возможность потенциальным работникам заполнять резюме в этой системе непосредственно.

Тем самым мы приходим к необходимости создания личных кабинетов работников.

## 7. О ЛИЧНЫХ КАБИНЕТАХ РАБОТНИКОВ

Личные кабинеты работников должны заполняться по западному типу анкет, называемых CV. Работник должен иметь возможность загрузить туда все сведения, которые он считает необходимыми сообщить потенциальному работодателю, но при этом нежелательно раскрывать персональные сведения. Следовательно, система не должна запрашивать паспортные данные, данные об удостоверении пенсионного страхования, ИНН и прочие сведения, которые могут быть использованы во вред работнику, если станут достоянием недобросовестных лиц. Система должна быть организована так, чтобы она не только не запрашивала таких сведений, но и не предоставляла возможностей сообщения таких сведений.

В настоящее время созданы и успешно работают множество систем, в которых интегрируются научные достижения исследователей, поскольку эти системы собирают воедино все публикации авторов. К таким системам относятся, например, наукометрические базы данных, такие как РИНЦ, *Scopus*, *Web of Science* (*Web of*

*Knowledge*), *ORCID*, а также многие другие. Некоторые из них формируются автоматически, авторы могут лишь запросить поиск сведений о себе, собрать имеющиеся сведения воедино, исключить сведения об однофамильцев, слить воедино несколько собственных профилей и так далее. В других базах авторы могут активно работать, добавлять не только сведения о состоявшихся публикациях, но и выкладывать публикации в открытом доступе, отслеживать читателей этих публикаций, их цитирование, отслеживать публикации выбранных авторов и так далее.

К большому сожалению, эти базы недостаточно связаны между собой, иногда их связь между собой просто невозможна. Например, автор, имеющий публикации в базах *Scopus*, *WoS*, РИНЦ, не может все имеющиеся там публикации перебросить в интересующие его базы, созданные для формирования заявок на получение грантов, путем нажатия нескольких кнопок и, например, ввода индивидуального номера по этим базам. Созданные базы «Сеть Российской науки», как и порталы РФФИ и РФФИ запрашивают у участников ввод этих данных вручную, что, с одной стороны, крайне трудоемкая работа, с другой стороны, требует еще и верификации. Куда как проще было бы, если бы было достаточно ввести, например, номер *ORCID*, после чего все эти базы получили бы все необходимые данные из баз *Scopus*, *WoS*, РИНЦ. Но этого пока нет.

Приблизительно также дела обстоят и с резюме потенциальных работников: если работник чего-то не написал о себе сам, то работодатель этого не знает и никогда не узнает. Нескромный получает лучшее место (при прочих равных условиях), скромный остается не у дел. Если уж система не может интегрировать сведения из открытых баз, то она, как минимум, должна формировать подсказки, правильные позиции для заполнения, чтобы будущий работник наиболее полно заполнил собственную анкету.

## 8. О ПРОГНОЗЕ КАДРОВЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ

Кадровые потребности не будут своевременно удовлетворены, если они не были заблаговременно спланированы.

Прогнозом может заниматься, разумеется, лишь тот, кто разрабатывает стратегическую программу развития собственной организации и программу совместных работ с предприятиями-партнерами.

Корпорация может осуществлять даже такую деятельность, как строительство новых цехов, заводов, центров обработки данных, центров коллективного пользования и т.д. Это может потребовать одномоментного приема на работу нескольких десятков и даже нескольких сотен работников. Эту задачу с помощью кадрового

агентства не решишь. Невозможно ее решить однократным поиском в информационной системе по компетенциям среди образовательных программ различных вузов. Здесь требуется плановая заблаговременная работа с образовательной организацией, возможно даже с несколькими образовательными организациями. Для этих целей требуется инструментарий анализа соответствия имеющихся образовательных программ целям и задачам кадрового обеспечения Корпорации, а также инструментарий подготовки предложений о создании новых образовательных программ и при необходимости новых индивидуальных образовательных траекторий, что можно осуществить только на основе достаточно глубокого анализа существующих ОП и ИОТ, а также на основе формального анализа будущих потребностей и возможностей участия Работодателя в подготовке кадров путем организации всех видов практик. Также важна возможность создания СОП между несколькими образовательными организациями.

Повышение квалификации также является важным способом управления компетенциями работников предприятия и их повышения, поэтому информационная система должна предоставлять инструментарий для формирования программ таких повышений квалификации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в данной статье проблемы и методы их решения требуют создания действенной информационной системы, всесторонне учитывающей потребности крупной Корпорации, заинтересованной в управлении компетенциями будущих работников. При активном содействии заинтересованных сторон такая система может быть создана в относительно приемлемые сроки, т.е. за один-два года. Создание демонстрационных пилотных образцов системы может быть осуществлено значительно быстрее.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. Перечень образовательных стандартов <http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4>
- [2] Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. Стандарты по уровню Бакалавриат, укрупненная группа специальностей 27. <http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4/27>
- [3] Жмудь В. А. QUEST: «Государственная аккредитация вашего вуза» - бакалавриат, магистратура, аспирантура, специалитет. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 4 (18). С. 128–148.



**Александр Валерьевич  
Ляпидевский,** кандидат  
экономических наук, директор  
Новосибирского института  
программных (системных)  
систем, автор около 100 научных  
статей. Область научных  
интересов и компетенций -  
программные системы и  
инструменты, инновационные  
технологии.  
Россия, Новосибирск, 630090,  
просп. Ак. Лаврентьева 6/1.  
НИПС.  
E-mail: [nips@nips.ru](mailto:nips@nips.ru)



**Вадим Аркадьевич Жмуд** -  
заведующий кафедрой  
Автоматики НГТУ, профессор,  
доктор технических наук.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)  
  
630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20

Статья поступила 20 августа 2018 г.

## Proposals for the Implementation of the Information System project for Forecasting Staffing Needs and Managing the Competencies of Future Personnel of a Large Enterprise or Corporation

A. V. Liapidevskiy<sup>1</sup>, V. A. Zhmud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PAO Novosibirsk Institute of Program Systems,

<sup>2</sup>FGBOU VO «Novosibirsk State Technical University»,

*Abstract:* Possible ways of creating an information system for strategic proactive management of the competencies of employees employed in a large organization or corporation are considered. When solving the tasks of staffing a large enterprise, a number of tasks arise that can no longer be solved by placing ads on the search for employees or by recruiting recruitment agencies or employment services. The fact is that the possible needs of the corporation can be changed by leaps that can be predicted and which should be prepared in advance, while the capabilities of these methods of staffing are limited in terms of implementation time, the number of personnel provided by such a search, and other parameters. In particular, the recruitment agency can only analyze the resumes of employees, but it is not responsible for the fact that the competence of these cadres actually corresponds to their characteristics indicated in the resume (portfolio). From such a system, educational organizations that train personnel are practically excluded. Also, the workers themselves are excluded from the training process; they can not influence the qualification of future specialists, which, of course, does not meet modern requirements. The proposed concept of creating an information system can help create the conditions for targeted training of personnel (bachelors, masters, specialists and aspirantes). In the article the terminology is given, the basic initial information for creation of the preliminary technical project on the pilot version of the system is considered.

*Key words:* personnel management, corporation, higher education, bachelor's degree, master's degree, specialty, postgraduate study, doctoral studies, competencies, Federal educational standards of higher education

### REFERENCES

- [1] Portal Federal'nykh gosudarstvennykh obrazovatel'nykh standartov vysshego obrazovaniya. Perechen' obrazovatel'nykh standartov <http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4>
- [2] Portal Federal'nykh gosudarstvennykh obrazovatel'nykh standartov vysshego obrazovaniya. Standarty po urovnyu Bakalavriat, ukрупnennaya gruppy spetsial'nostey 27. <http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4/27>.
- [3] V. A. Zhmud. QUEST: "The state accreditation of your university" - bachelour, master, aspirant, specialty. Automatics & Software Enginery. - 2016. - № 4 (18). - P. 128-148.



**Alexander V. Liapidevskiy,** PhD in Economics, director of the Novosibirsk Institute of Program (Software) Systems, the author of about 100 scientific articles. Area of scientific interests and competences - software systems and tools, innovative technologies. Russia, Novosibirsk, 630090, prosp. Ak. Lavrentieva 6/1. NIPS. E-mail: [nips@nips.ru](mailto:nips@nips.ru)



**Vadim Arkadievich Zhmud** – Head of the Department of Automation in NSTU, Professor, Doctor of Technical Sciences. E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)  
  
630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. K. Marksa, h. 20

The paper was received 20.08.2018.

## **VI. Инструментарий теории замкнутых динамических систем для физических и технических наук. Дискуссии. К сведению авторов.**

### **Содержание раздела:**

- ◇ В.А. Жмудь. Экспертиза против коррупции. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 88–98.
- ◇ В.А. Жмудь. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия. Почему закручены галактики. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 99–105.
- ◇ Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия». С. 106–110.

# Экспертиза против коррупции

В.А. Жмудь

*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

**Аннотация:** Статья обсуждает возможные причины зарождения коррупции в области экспертизы. Сделано предположение, что в постсоветском пространстве центр доверия несколько сместился, например, меньше стало доверия приемным комиссиям университетов, но больше доверия выпускным комиссиям школ, и так далее. Хорошо ли это, и к чему это может привести, обсуждается на гипотетических примерах. Делается вывод о том, что, по-видимому, ситуация весьма способствует зарождению коррупции, поэтому для борьбы с ней требуется «лечить» не следствия, а причину. Статья носит дискуссионный характер, автор не настаивает на своем персональном мнении, а лишь предлагает задуматься на эту тему тем, от кого зависит изменение ситуации.

**Ключевые слова:** экспертиза, коррупция, гранты, финансирование, наука, высшее образование, аккредитация

## ВВЕДЕНИЕ

«Я заметил – стоит кому-нибудь сделаться выдающимся специалистом, как в нем начинается какой-то внутренний процесс, завершающийся появлением точки зрения. И тогда этот специалист говорит: «С моей точки зрения, коллега, дело обстоит так-то». На что другой специалист возражает: «Допустим, коллега, но с моей точки зрения все обстоит диаметрально противоположно». По-моему, следовало бы оставлять эти точки зрения в прихожей, как шляпы и трости; как толькопустишь человека с точкой зрения, он обязательно что-нибудь напортит, или, по крайней мере, не согласится с остальными».

*Карел Чапек. Головокружение.*

Экспертиза проектов должна осуществляться независимыми экспертами, с этим никто спорить, по-видимому, не будет. Так же, как, по-видимому, не будет опровергаться и тезис о том, что коррупция в подобных сферах вполне возможна, и нельзя исключить также и того, что она имеет кое-где место. Борьба с коррупцией возможна примерно по той же схеме, по какой осуществляется борьба с опухолью – удаление, иногда и частью нужного органа, иногда с настолько большой частью, что оставшийся организм уже и не жизнеспособен.

Также в медицине известно такое явление, когда при удалении опухоли ее остатки разносятся кровью по остальным органам, ранее не зараженным, где становятся новыми очагами для роста опухоли. В этом случае операция по удалению опухоли может стать причиной гибели всего организма. Это оперативное лечение подобно не просто устранению отдельного коррумпированного эксперта, а выведению целого класса экспертов за рамки экспертных мероприятий.

Скажем, при появлении фурункула на руке можно ампутировать руку. Будет ли такое лечение действенным? С позиции того, что фурункула на данном организме больше нет, наверное, да. Но с позиции того, какая судьба далее ожидает пациента, наверное, нет.

Наверное, назрела пора присмотреться к механизмам экспертизы в науке, технике, технологиях и инновациях с той позиции, что, возможно, наше лечение штата экспертов где-то уже напоминает подобную ампутацию? А если окажется, что те органы, которые были здоровыми, после подобного лечения стали большими, то, возможно, что эта ампутация не помогла спасти организм в целом, лишь прибавила мучений к его агонии?

В настоящей статье сделана попытка анализа того, как сместился центр доверия экспертам в постсоветском государстве, какие процессы в результате запущены, что стало происходить лучше, а что, быть может, стало происходить хуже, или, во всяком случае, не настолько лучше, как это хотелось бы тем, кто эти процессы пока еще, возможно, контролирует.

## 1. ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ ПРИ ВАК

Экспертному совету при ВАК РФ дано право и дана обязанность рассматривать дела по диссертациям, готовить их для Президиума ВАК, т.е. готовить (предварительно формировать и обосновывать) одно из двух возможных заключений: «Утвердить» или «Отказать».

Диссертация на соискание ученой степени доктора наук защищается, как правило, при следующих условиях:

1. Наличие необходимого перечня публикаций, которые состоялись в высокорейтинговых журналах, наличие достаточного времени после их опубликования для того, чтобы в случае отрицательной реакции научной общественности на эти публикации соответствующие отрицательные отклики поступили бы в редакцию этих журналов или были опубликованы в виде отдельных публикаций.

2. Наличие обсуждения результатов диссертации на высокорейтинговых международных научных мероприятиях (конференциях), где научная общественность имеет возможность не только выслушать материалы, но и высказать свое мнение о них, в



том числе и отрицательное, если к тому есть основания.

3. Наличие положительного заключения от организации по месту выполнения работы. Это означает, что, как правило, не менее десятка докторов и кандидатов наук (чаще несколько десятков) заслушали научный доклад соискателя, задавали вопросы (зачастую достаточно каверзные), также оценили диссертацию по формальным признакам (достаточное количество публикаций, соответствие научной специальности, отсутствие необоснованных заимствований, актуальность темы, ценность полученных результатов для науки и для практики, и так далее). По всем этим показателям принято положительное коллективное мнение, что зафиксировано соответствующим протоколом. Кроме того, организация по месту выполнения работы подтверждает, что результаты работы получены автором лично, никакого присвоения чужих результатов не имеет места. Обычно такое рассмотрение делается на основе предварительного детального изучения работы назначенными экспертами, являющимися незаинтересованными лицами, представителями других подразделений этой организации, но являющиеся при этом специалистами по теме диссертации. Чаще всего это доктора наук по данной специальности, но в некоторых случаях среди них могут быть несколько кандидатов наук, но достаточно авторитетных, имеющих публикации по теме, близкой к теме диссертации.

4. Наличие положительного заключения Ведущей организации, т.е. такой организации, которая в области исследований является наиболее авторитетной вследствие наиболее весомых научных и практических результатов за последние несколько лет именно по этой тематике. При этом также делаются оценки по всем указанным вопросам. Не проверяется лишь вклад лично автора в полученные результаты, поскольку никто не может это проверить лучше, чем организация по месту выполнения работы, и ее заключения для этого более чем достаточно.

5. Наличие положительных отзывов трех официальных оппонентов, которые детально прочитали работу. Они являются докторами наук по области выполненных исследований. Они также положительно оценили диссертацию по всем указанным пунктам, кроме личного вклада.

6. Наличие положительных заключений в устной форме от рецензентов от диссертационного совета, как правило – 2-3 человека, доктора наук по области исследований диссертации.

7. Наличие предварительного положительного результата заслушивания информации о диссертации на том заседании

диссертационного совета, где она принимается к защите.

8. Наличие возможности гласного обсуждения результатов работы по материалам открытого опубликования не только автореферата диссертации, но и полного текста диссертации на сайте диссертационного совета.

9. Наличие отзывов на диссертацию от всех желающих, полный учет всех замечаний по диссертации.

10. Обязательная рассылка авторефератов диссертации по всем адресам, которые составляют обязательный перечень для данной научной специальности, а также по дополнительным адресам. Обязательное наличие полного текста диссертации в библиотеке организации, при которой действует диссертационный совет. Также обязательное наличие диссертации в открытом доступе на сайте этого диссертационного совета.

11. Обязательное заслушивание на диссертационном совете всех документов, подтверждающих соответствие диссертации всем требованиям ВАК, заслушивание докладов, зачитывание всех отзывов с акцентированием внимания на всех недостатках, отзыв диссертанта на все замечания по всем отзывам вне зависимости от компетенции и формальных показателей их авторов. Также обязательный ответ на все вопросы, которые будут заданы любым присутствующим на защите, а не только от членов диссертационного совета. Также обязательное заслушивание всех желающих выступить.

12. Тайное (следовательно, полностью независимое) голосование всех членов диссертационного совета, на основании чего выносится положительное или отрицательное итоговое решение диссертационного совета по диссертации.

При условии выполнения всех этих двенадцати пунктов диссертация считается успешно защищенной, после этого все материалы отправляются в ВАК, где они попадают в экспертный совет. Допускается успешная защита и при одном отрицательном отзыве официального оппонента, также и при нескольких отрицательных отзывах от лиц или организаций, не являющихся официальными оппонентами, но мы этот случай не рассматриваем, считая его экзотическим. Безусловно, такие случаи должны быть предметом пристального внимания вышестоящих инстанций, таких как указанный Экспертный совет и Президиум ВАК. Но в данном случае мы ведем речь не о них, а о случаях, где **все без исключения положительно**.

Материалы поступают в Экспертный совет ВАК. Список экспертных советов представлен на сайте ВАК [1]. В каждом около сорока человек (от тридцати до пятидесяти). Времени

на изучение диссертации у них нет, да и интереса в этом нет, как нет и обязанности такового изучения. Но этот совет наделен полномочиями не пропускать какую-то часть диссертаций, а, *следовательно, эти полномочия необходимо время от времени использовать для того, чтобы подтвердить свою работу и компетентность.* Согласно положению ВАК, члены экспертного совета не должны влиять на принятие решений по диссертациям, защищенным в диссертационных советах, где они являются членами, или которые открыты при организациях, в которых они состоят. По-видимому, *это просто в принципе невозможно.* Даже если член такого Экспертного совета не явится на заседание, все же все остальные члены этого совета, вероятнее всего, «сработались» с этим членом и не заинтересованы в отрицательном решении по такой диссертации, поскольку они сами также будут в подобной ситуации, и они будут заинтересованы в положительном решении. Итак, под нож потенциально попадают те диссертации, которые защищены в диссертационных советах, не имеющих своих представителей в Экспертном совете. Но этого мало. Ситуация осложняется соображениями конкуренции. Если член экспертного совета, например, является, условно говоря, заместителем председателя в диссертационном совете по основному месту работы, он, безусловно, заинтересован в активной работе этого совета. Но как быть, если в этом совете за последние два года защищены, например, всего лишь две кандидатские и одна докторская диссертации? Безусловно, активность такого диссертационного совета не на должной высоте. Совету грозит закрытие. Что можно сделать в этой ситуации, понятно: *содействовать закрытию других диссертационных советов по этой же специальности.* В этом случае соискатели будут *вынуждены обращаться в данный диссертационный совет*, что создаст ему исключительные условия для дальнейшего процветания. Меньше конкуренции – выше результаты.

Таким образом, подобный член экспертного совета не только имеет *все возможности* для того, чтобы направить диссертации от советов-конкурентов на дополнительную экспертизу, т.е. подготовить отрицательное решение, но также *имеет и побудительные мотивы для этого.*

Зададимся вопросом: если результат экспертизы будет положительным, означает ли это, что диссертация будет Экспертным советом одобрена? Ответ отрицательный. Не обязательно. Экспертный совет может вообще игнорировать это положительное решение. Это утверждение опирается не на фантазии, а на реальные факты, имевшие место совсем недавно.

Зададимся и другим вопросом. Если вдруг так случится, что диссертация, защищенная в диссертационном совете, где член Экспертного совета является, например, заместителем председателя, получит отрицательное заключение назначенного эксперта, означает ли это, что итоговое заключение Экспертного совета будет отрицательным? И тут ответ «нет». Не означает. И это также не фантазии, а имевший место факт.

Еще такой вопрос для читателей: если, например, Экспертный совет не одобрит подобную диссертацию по результатам заслушивания указанного назначенного оппонента, что за этим может последовать? Оказывается, что ничего особенного. На следующем внеочередном или очередном заседании по предложению, например, этого заинтересованного члена Экспертного совета, или по предложению его доброго коллеги может быть заново рассмотрена эта диссертация, уже в отсутствие назначенного оппонента, и вообще без каких-либо следов от его экспертного заключения. И при этом повторном рассмотрении эта диссертация может, оказывается, быть одобрена. В итоге абсолютно «чистое», без следов указанной экспертизы, диссертационное дело направляется в Президиум, где голосование осуществляется чисто формально, оптом. Положительное заключение Экспертного совета – это практически гарантия положительного решения Президиума, и наоборот, как увидим, отрицательное решение Экспертного совета – это гарантия итогового отрицательного решения Президиума.

Почему так? Да очень просто: соискателя либо вынуждают снять работу с рассмотрения, «разъясняя» ему, что шансов на положительное заключение у него нет никаких, а после снятия он может ее слегка подправить и вновь положительно защитить, после чего якобы она будет положительно оценена Экспертным советом, и, следовательно, будет утверждена Президиумом. Либо, если соискатель упорствует, то в худшем случае Президиум примет отрицательное заключение на основании отрицательного заключения Экспертного совета, а в лучшем случае он отправит диссертацию на повторную защиту в какой-либо другой диссертационный совет.

Если диссертант снимает диссертацию, то диссертационный совет, где была защита, получает замечание. В случае двух подобных замечаний диссертационный совет закрывается. Следовательно, диссертант, снявший диссертацию, оказывает «медвежью услугу» совету, в котором он защитился. Следовательно, ему не приходится рассчитывать на положительную повторную защиту в этом совете.

Если диссертант диссертацию не снял, но Президиум согласился с решением Экспертного совета, диссертация не утверждена, следовательно, опять же, диссертационный совет получает замечание, итог тот же.

Наконец, если Президиум не согласился с решением Экспертного совета и направил диссертацию на повторную защиту, то что будет?

Для начала представим себе чисто фантастическую ситуацию, которая, конечно же, в жизни никогда не имеет места. Заинтересованный член Экспертного совета попросту информирует диссертационный совет, в котором назначена повторная защита, что заключение должно быть отрицательным, а иначе все диссертации, защищенные в этом совете, будут попадать под пристальное внимание Экспертного совета. Это означает, что данный диссертационный совет может достаточно обоснованно ожидать своего закрытия. Следовательно, повторная защита будет отрицательной и подтвердить решение Экспертного совета вне зависимости от его обоснованности.

Теперь рассмотрим фактическую ситуацию. Никакой член экспертного совета не появляется, не дает знать о себе. Но ведь председатель диссертационного совета отдает себе отчет в том, что на их совет возлагается одноразовая миссия быть судьей того, кто впоследствии будет не одноразовым, а длительным судьей этого совета. Неужели можно себе представить адекватного председателя диссертационного совета, который не понимает, чем ему грозит конфликт с экспертным советом? Проблема в том, что экспертный совет осведомлен о том, в каком именно диссертационном совете назначена повторная защита, и он вполне отслеживает его решение и судьбу данной диссертации.

В этих условиях допускать возможность положительной повторной защиты – означает совершенно не понимать человеческую психологию. По-видимому, теоретически такое может изредка случаться, но лишь изредка, вопреки личной заинтересованности всех фигурантов и во славу объективности. Нам такие примеры не известны.

Итак, получается, что по сути именно Экспертный совет, а вовсе не диссертационные советы совместно с ведущей организацией и тремя оппонентами определяет судьбу диссертации. Не понравится им эта диссертация, и не быть соискателю доктором наук, понравится – значит, можно поздравлять соискателя.

Но на каком основании можно предполагать компетентность и объективность экспертного совета? По тематике диссертационного исследования в нем едва ли может оказаться один-два специалиста. Они являются

экспертами по первичному признаку, то есть по тому факту, что название наук у них совпадает, да и это не всегда. Если член Экспертного совета является доктором сельскохозяйственных наук, он будет достаточно «компетентно» участвовать в принятии решения по диссертации по биологическим наукам. Ну и наоборот, конечно. То же и с другими науками. Совпадение по специальности маловероятно, очень редко. Если в экспертном совете окажется два эксперта по той же научной специальности, что и рассматриваемая диссертация, это невероятная удача, поскольку для широты представления мнений такое, по-видимому, практиковаться не должно. По этой же причине наличие трех членов Экспертного совета по специальности диссертации попросту исключено. Следовательно, в коллективе, который принимает окончательное решение, может быть либо один, либо два специалиста по данной специальности. Скажем более прямо: среди 30-50 человек, которые выносят по факту окончательное решение, лишь двое что-либо могут понимать в существовании диссертации. Остальные – статисты в отношении каждой конкретной диссертации. Вероятнее всего это лишь один фактический «эксперт». И при этом вероятнее всего он заинтересован в уменьшении количества диссертационных советов именно по этой специальности. То есть вероятнее всего он заинтересован в отрицательном решении.

Итак, экспертный совет состоит из примерно сорока человек, которые «не в теме», и одного человека, который, возможно «в теме», но является прямым конкурентом. И его мнение является определяющим, тогда как мнение всех, кто принимал участие в мероприятиях, обозначенных в двенадцати пунктах, ничего равным счетом не значит.

Что будет, если, например, это лицо подготовит заключение о том, что диссертация «не соответствует специальности», а диссертационный совет, где она будет защищаться повторно, даст заключение о том, что диссертация соответствует специальности, но все же не в достаточной мере отвечает, например, достаточно расплывчатому требованию пункта 10, где говорится о том, что в совокупности результаты должны обладать ценностью крупного научного исследования, по сути можно утверждать, что такое решение опровергает заключение Экспертного совета? Означает ли это, что Президиум не согласится с заключением Экспертного совета? Оказывается, отнюдь не означает. Не имеет значения, что Экспертный совет отклонил диссертацию по одному признаку, а диссертационный совет для повторной защиты отклонил ее по другому признаку. Несмотря на то, что по совокупности решений ни одна из мотиваций отклонения не подтверждается другой инстанцией, все же

итоговое решение будет отрицательным. И это опять-таки не гипотетическая ситуация, а пример, взятый из жизни.

Итак, получается, что единственный формально компетентный, а реально конкурентный член экспертного совета может однозначно определять судьбу любой диссертации, в том числе обеспечить положительное решение для той диссертации, которая, даже если и слаба, все же защищена в том совете, в работе которого он заинтересован, а также обеспечить отрицательное решение по любой диссертации в любом другом совете, что позволяет диктовать свою волю любому диссертационному совету по той специальности, в которой он имеет явные интересы.

Сосредоточить все рычаги давления в руках единственного заинтересованного лица – это означает *создать питательную почву для коррупции*.

Мы не будем задавать вопрос о том, насколько распространена коррупция такого рода. Мы лишь вскрываем механизм.

Поэтому мы зададим следующий вопрос: «Для чего нужны экспертные советы?» По-видимому, для успокоения их создателей, для создания необоснованной уверенности в том, что процесс защиты диссертаций находится под надежным контролем лиц, препятствующих коррупции на местах. По-видимому, те, кто их создает, *не доверяют решениям диссертационных советов*.

Вот так, опасаясь, что опухоль распространится на другие органы, удаляем орган с опухолью целиком. Лишаем авторитета диссертационные советы, снимаем с них ответственность, передаем ее выше, наверх, где фактических экспертов в каждом конкретном решаемом вопросе нет вовсе, либо их не более двух, и именно там ожидается отсутствие коррупции. Отрезаем руку из-за боязни фурункула. Вот такое лечение.

## 2. ЗАЧИСЛЕНИЕ СТУДЕНТОВ И ЕГЭ

Страна не доверяет собственным ученым и преподавателям высших учебных заведений. Ожидалась коррупция в среде приемных комиссий высших учебных заведений. Прекрасно, университеты лишили возможности принимать вступительные экзамены кроме случаев, когда абитуриент был лишен возможности сдать ЕГЭ. В университетах коррупции больше нет. Возникает вопрос: не переместилась ли она в школы?

Хорошо, допустим, профессор корысти ради поставит незаслуженную пятерку неуспевающему абитуриенту, и (или) поставит незаслуженную двойку успевающему абитуриенту. Кого он накажет, прежде всего, как не себя самого? Кто из преподавателей заинтересован в потере грамотных, талантливых

и мотивированных студентов? Кто из них заинтересован в том, чтобы их места занимали неграмотные, бездарные и немотивированные студенты, которые, вероятнее всего, либо будут отчислены на одной из многочисленных предстоящих сессий, либо в конце пути представят к защите низкокачественную выпускную работу, которую защитят с грехом пополам? Где такие преподаватели? Я их не встречал. Возможно, они есть, но их ничтожно мало. Как ничтожно мало отношение площади фурункула к площади кожи всей руки.

Теперь обратим свой пристальный взор на школы. Спросим себя: заинтересованы ли учителя в необоснованно высоких оценках своих выпускников? Можно ли указать хоть одну причину того, чтобы какой-либо школьный учитель был не заинтересован в завышенных оценках своих выпускников в среднем? Отдельные возможные факты «личной неприязни» если и имеют место, то они отнюдь не обеляют систему ЕГЭ, а скорее дают лишний аргумент против этой системы. Если слабый ученик получит высокую оценку, как это может отрицательно сказаться на судьбе школьного учителя? Разве ему потребуется потом четыре года впахивать сложные знания в голову, которая недостаточно к этому готова?

Получается, что объективную систему оценки знаний тем инструментарием, который имеет все основания быть объективным, то есть с помощью вступительных экзаменов в университете, отбросили из-за необоснованных подозрений в возможной коррумпированности, а инструментарий, который сложно заподозрить в объективности, взяли на вооружение. Отрезали здоровую ногу из-за фурункула и примотали сучковатый костыль. Великолепное лечение от коррупции.

Этого показалось мало. Создали систему «*Целевых бюджетных мест*». Идея была великолепной. Если предприятию требуется специалист, выпускник некоторого университета, то оно может написать в министерство письмо в свободной форме, и тогда министерство преобразует одно из своих бюджетных мест данного университета в целевое место. Это означает, что на него университет будет обязан зачислить того студента, который первым догадается принести в приемную комиссию соглашение о целевом обучении. Механизм этого означает, что если у не слишком образованного или недостаточно талантливого сынка какого-нибудь директора или заместителя директора есть большие сомнения в том, что он со своими оценками по ЕГЭ сможет поступить на выбранное им направление обучения, то его, допустим, папа, или иной родственник или заинтересованное лицо может написать подобного рода письмо, которое при ближайшем рассмотрении ни к чему никого не обязывает. Далее это же лицо



инициирует оформление соглашения с этим не слишком талантливым абитуриентом. И он занимает на законных основаниях безо всякого конкурса бюджетное место, на которое уже теперь не попадает тот студент, который совсем чуть-чуть не добрал баллов, потому что количество бюджетных мест, поступивших к распределению на остальных студентов, уже уменьшилось на одно. А ведь ограничений по количеству подобных целевых мест никаких нет. Все имеющиеся бюджетные места могут быть преобразованы в целевые. Это означает, что **по согласованию с несколькими предприятиями можно осуществить набор нужных абитуриентов, заранее составив их список.** Все остальные могут либо поступать на платной основе, будь они хоть круглыми отличниками и победителями олимпиад самых высоких уровней, либо идти поступать на другие направления.

Какие обязанности это накладывает на предприятие? Формально, оно должно заключить договор о том, что после окончания обучения данный студент придет работать на это предприятие. Такой договор может легко быть расторгнут по согласованию сторон без каких-либо санкций на какую-либо сторону. Он также может и не быть выполненным, и, если ни одна из сторон не потребует его выполнения, никто ничего не теряет. Предприятие не обязано финансировать обучение данного студента. Оно вообще ничего не обязано. Студент не обязан отрабатывать какой-то фиксированный срок на предприятии. Он вообще ничего не обязан. Он не обязан хорошо учиться. Он может не сдать сессию и быть отчислен.

Может ли университет или его подразделение (кафедра, факультет) принять решение об отказе приема целевых студентов? Оказывается, не может. Хуже того, если другой факультет реализует подготовку студентов на том же направлении, теоретически, организовав поток писем по преобразованию бюджетных мест в целевые, он может лишиться данный факультет его бюджетных мест. Если это не разбой, тогда что называется разбоем в наше время? Создана питательная среда для коррупции. Мы можем лишь надеяться на то, что ее нет. Хотя природа демонстрирует иное: везде, где есть питательная среда, развиваются те, кто могут этой питательной средой воспользоваться. В природе не встречается белок, на который не покушается никакое живое существо. Встречается белок, на который покушаются многие, но «бесхозного» белка нет. Поэтому если создать питательную среду для коррупции, она появится.

В дополнение к этому отметим, что университетам рекомендовано не отчислять в год более 10% студентов, обучающихся за счет средств из бюджета. Если этот процент будет превышен, это отрицательно отразится на

зарплате преподавателей. В год имеем две сессии, следовательно, на каждой сессии отсеивать не должен превышать 5%. А кому хочется получать меньшую зарплату за ту же самую работу? Следовательно, преподавателей склоняют к необоснованной мягкости при приеме экзаменов и зачетов. А если 100% студентов – целевые, то есть их стартовый уровень знаний недостаточный, то как можно вытягивать на каждой сессии 95% студентов? А если в сессии четыре экзамена и пять зачетов, сколько двоек остается на один предмет? Если обучается 40 студентов, то на одной сессии можно отчислить не более двух. А если их останется 9, тогда даже в год отчислять нельзя вообще никого, поскольку десять процентов от девяти меньше, чем один. Что ж, давайте бороться с коррупцией, но, наверное, надо начать с того, чтобы устранить условия для ее зарождения и воспроизводства.

### 3. ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ

*Страна, которая не доверяет собственным специалистам, вынуждена кормить чужих.* Как оцениваются российские ученые и преподаватели? По публикационной активности [3–4]. По тому, сколько у них статей в журналах, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science и некоторых других. Но эти базы, во-первых, иностранные, во-вторых, англоязычные. Для того, чтобы статью там опубликовали, ее надо перевести на качественный английский язык. Следовательно, если статья сама по себе новая, важная, значимая во всех отношениях, но авторы не владеют английским языком в достаточной мере, чтобы писать так же качественно, как это делают безо всякого напряжения люди, чей родной язык – английский, то такая статья либо не будет опубликована вовсе, ради ее опубликования придется потратить деньги в том числе и на высококачественный перевод, который, надо признаться, в нашей стране делает далеко не каждый, кто за это берется.

Язык – это лишь одна проблема. Другая проблема – иностранная принадлежность важнейших баз данных, а, следовательно, и важнейших журналов. Это значит, что они (те, кого в советские времена называли супостатами, а нынче они – идеологи санкций) определяют, какая статья хорошая, а какая – не очень. Недодумал Барак Обама, да и Дональд Трамп пока не догадался, что не надо делать санкции, когда в руках такое мощное оружие, как наукометрические базы.

Если завтра США совместно с Евросоюзом примут решение о том, чтобы прекратить публиковать в их журналах статьи авторов из России, то очень скоро окажется, что «по данным мониторинга», то есть, по мнению руководства Минобрнауки, опирающегося на чисто формальные показатели, в России резко



сократилось число ведущих ученых, резко упал уровень отечественной науки, вообще наука и образование прекратило сколь-нибудь ценную деятельность. Следовательно, надо будет отказать в финансировании отечественным университетам и институтам РАН, далее последует закрытие диссертационных советов, это автоматически вызовет закрытие всех докторантур, далее прекратят существование и аспирантуры. Следовательно, не будет новых профессоров, не будет новых доцентов, не будет защит кандидатских и докторских диссертаций. Не будет и инновационных проектов, не будет финансовой поддержки каких-либо наукоемких исследований. Те, кто эту поддержку имели, не смогут за нее отчитаться.

Впрочем, не все. Те, кто включил в списки соисполнителей иностранных ученых, смогут отчитаться их публикациями.

Давайте проанализируем, какие мероприятия планируют отечественные научные журналы, участвующие в конкурсе на государственную поддержку [2]. Наиболее частое мероприятие состоит в том, чтобы заказать зарубежным авторам обзор по теме, соответствующей направлению журнала. При этом в среднем журналы предполагают выплату гонорара на уровне около 1 тыс. евро за статью (иногда вдвое больше). Но целью проекта является совсем иное (цитируется в сокращении): «повышение качества российских научных журналов...; стимулирование российских исследователей к публикации качественных результатов научных исследований в российских научных журналах; развитие российских научных журналов как национальных каналов информации ...; повышение качественного уровня российских научных изданий...; повышение авторитетности и влияния российского научно-информационного и научно-издательского сегмента в мировом сообществе». Это получается, что для того, чтобы нашим российским ученым предоставить лучшие возможности публикаций, мы должны тратить деньги из государственного бюджета (то есть заработанные нами деньги, которые переданы в виде налогов) на оплату заказных обзоров, выполненных иностранными учеными? Принцип отбора, естественно, основан на цитируемости этих иностранных ученых. И они обязательно должны быть иностранными, иначе это не повысит рейтинга наших российских журналов. То есть если обзор на тему ядерных реакторов напишет иностранец, например, из Таджикистана, или из Непала, то это будет статья иностранного автора. А если российский академик по атомной физике – это, извините, немножко не то. Не стыдно нам, что на сайте журнала сказано, что гонорары журнал не выплачивает. Не хотим мы понять, что ценность научного обзора на порядки меньше, чем

ценность оригинальной научной статьи. Нам подавай обзор, написанный иностранцем. Если поддержать такие программы, то на рынке авторов обзоров будет конкуренция. Авторы-иностранцы смогут спрашивать: «Кто больше?» Они уже не будут соглашаться писать обзоры за какие-то жалкие тысячу евро, запросят две тысячи, три, пять, кто больше даст, тому и напишут.

Опять почва для коррупции?

О «клубе взаимного цитирования» писать не буду, всем все ясно.

О статьях, в которых полторы тысячи авторов при том, что объем статьи составляет порой полторы страницы, тоже, наверное, не надо писать.

Эволюция приучала каждое живое существо, и человек не является исключением, искать пищу везде, где только можно, сокращать свои усилия по добыванию этой пищи так, как только можно. Муравьи, этот вечный символ «трудолюбия», научились паразитировать на других видах муравьев. Когорту ученых и бизнесменов, преподавателей и руководства крупных организаций вряд ли можно заподозрить в недостатке интеллекта. Если им озвучены условия, на которых они могут более успешно получать деньги, они, по всей видимости, эти условия рано или поздно поймут. И они поймут, что для того, чтобы получать мегагранты на уровне 500-2000 млн. руб. на несколько лет, хотя и важно, но, как выясняется, не очень важно, иметь за душой реальный опыт успешной инновационной деятельности, реального внедрения НИР, реальных ОКР, реального получения прибыли от наукоемких производств. Если все это имеется, но это не опубликовано в зарубежных журналах, то грош – цена этим достижениям. С другой стороны, если обещается несколько публикаций в журналах, входящих в первый или второй квартал, то цена этой заявке возрастает чуть ли не до небес. Вероятность победы намного выше, если вас публикуют за рубежом. Значит, чтобы получать финансирование в родном отечестве, надо делиться им с иностранцами.

#### 4. ВЫЕЗДНЫЕ ПРОВЕРКИ

Экспертные проверки зачастую осуществляются специалистами, не входящими в экспертные организации на постоянной основе [5]. Это подработка. Весь интерес привлеченного эксперта – в оплате его труда. Какова же она, эта оплата? За работу на протяжении недели оплачивается менее 8 тыс. руб. При этом никаких суточных – только чистая оплата. При этом расходы на билеты и проживание эксперт изначально осуществляет из своих средств, далее после приема его работы ему эти средства компенсируются, если его работа будет принята. А она может быть не

принята. Билеты по нашей необъятной Родине могут стоить в оба конца на уровне 30 – 50 тыс. руб., проживание в гостинице за пять дней – еще 10 – 15 тыс. Эту сумму эксперт как бы занимает сам у себя в надежде, что она вернется с указанной добавкой. Достаточная заинтересованность, чтобы быть неподкупным? А если учесть, что сборы за приобретение билетов не компенсируются, это еще минус 400 руб. в среднем, завтраки в гостинице не должны быть включены в стоимость, проживание разрешено только в гостинице класса «эконом», билеты, естественно, тоже только «эконом», то получается, что доход от такой экспертизы и того меньше. Но ведь эксперт в это время не будет находиться на собственном рабочем месте. Он должен взять отпуск за свой счет, если быть до конца честным и последовательным. Это означает, что если, например, оклад у такого эксперта по основному месту работы составляет 20 тыс. в месяц, приравняем для простоты месяц к четырем неделям, то эксперт теряет на такой поездке 5 тыс. руб. собственного оклада, а его заработок составляет менее трех тысяч рублей за пять дней напряженной работы. Если же его оклад составляет 28 тыс. руб. в месяц, он равным счетом ничего не заработает на такой поездке, а если он составляет, предположим, 56 тыс. руб., то он потеряет около 7 тыс. руб. Напомню, что теоретически его работу могут не принять, его расходы не компенсируют и оплату труда не произведут. Тогда его потери могут составить около 50 тыс. руб., при том, что на самом-то деле он будет работать. Наконец, возможно и такое: ему предложат приобрести билеты, но потом экспертиза в срочном порядке будет отменена, ему придется билеты сдавать, но разницу ему никто не вернет. Чистый убыток не по его вине. Казалось бы, при таких условиях, экспертов быть вообще не должно. Кто же согласится работать на таких условиях?

Но что же мы видим на самом деле? На самом деле эксперты есть, и их число достаточно велико – несколько тысяч. Следовательно, мы чего-то не учли в этих подсчетах?

Первое. Отпуск можно не оформлять. Законно ли это? Без комментариев. Но это дает все же положительный баланс для эксперта, доход на уровне примерно 7,5 тыс. руб. от поездки. Достаточна ли эта мотивация? Несколько лет назад я бы ответил «да». Сейчас объем работы эксперта возрос непомерно, уровень оплаты снизился на тысячу рублей, раньше было девять.

Второе. Мотивацией может служить желание посмотреть другие города, познакомиться с другими университетами, завязать дружеские отношения с коллегами. Стоп! Завязать дружеские отношения – это не соответствует задаче «объективной экспертизы». Значит,

отпадает. Только знакомство с местностью и с университетом. Да, полезно посмотреть, сравнить собственный уровень с уровнем других вузов.

Третье. Разобраться с механизмом экспертизы, чтобы самому потом хорошо подготовиться к подобным проверкам. Это работает, но плохо. Правила экспертизы настолько часто изменяются, что вчерашний эксперт рискует сегодня оказаться недостаточно компетентным, если он не ездил с проверками каких-нибудь полгода – все требования могут измениться настолько кардинально, что сам он как руководитель кафедры, реализующей некоторое направление подготовки, может оказаться не готовым к экспертной проверке пакета документов по этому направлению.

Четвертое. Может быть, проверяемые организации что-то делают для того, чтобы дополнительно мотивировать экспертов? Если это так, тогда это – коррупция. Будем в этом случае считать, что это не так?

Проверяемым организациям это запрещено. Экспертам также запрещено даже пытаться за счет проверяемых организаций. Правда, не всегда понятно, как же в таком случае пытаться экспертам, если они, например, попали в такой университет, который территориально существенно изолирован от других районов города, возможно, вообще находится на каком-то острове (скажем, остров Русский), и единственная возможность питания непременно связана с этим университетом. По-видимому, эксперт должен на такси ехать в город, либо привозить с собой «сухой паек».

Вообще говоря, эксперт находится в группе риска еще и потому, что бывает так, что выходит приказ о проведении экспертизы, эксперт приобретает билет, а потом экспертиза отменяется. Следовательно, эксперт должен сдать билет, что связано с определенными финансовыми потерями для него лично. Потеря на возврате билетов может оказаться соизмеримой и даже больше, чем предполагаемый заработок от выполнения экспертной проверки. Если эксперт даже при таких условиях находит для себя полезным (выгодным) работу в качестве эксперта, по-видимому, он знает что-то, чего не знаем мы с вами, поскольку автор этих строк для себя решил от подобных поездок отказаться раз и навсегда, если условия его взаимодействия с организацией, которая направляет его на экспертизу, не изменятся в лучшую сторону **кардинально**.

Хотелось бы понять, во-первых, на что рассчитывают те, кто создают такие условия для экспертов, во-вторых, для чего это делается?

## 5. ЭКСПЕРТИЗЫ С ЗАРАНЕЕ НАЗНАЧЕННЫМ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ИЛИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ РЕШЕНИЕМ

Представьте себе, что эксперту предлагается осуществить экспертизу, и заранее ему сообщают, что его решение должно быть положительным. Или оно должно быть отрицательным. Не важно, какое оно должно быть, главное, что оно ему сообщается заранее, до того, как он эту самую экспертизу выполняет. Собственно, выполняет ли он в этом случае экспертизу? Даже если он согласен с предлагаемым результатом, он решает не совсем правильную задачу – не поиск ответа на заданный вопрос, а поиск аргументации для заранее заданного ответа на заранее же заданный вопрос. Кому-то, по-видимому, такая работа очень нравится, поскольку дает возможность продемонстрировать профессионализм и покладистость вне зависимости от морально-этической стороны дела.

Во всех видах экспертиз, помимо прочего, может существовать и, возможно, существует перечень «белых» и «черных» экспертов, как это было продемонстрировано в фильме «Мы, нижеподписавшиеся». Должностные лица, формирующие экспертный совет, по опыту знают тех экспертов, которые достаточно вездельно изучают ситуацию, всегда изыскивают недостатки и поэтому преимущественно готовят отрицательные заключения, также как и знают они экспертов, которые, напротив, достаточно лояльны, склонны прощать мелкие недостатки и даже, возможно, способны подсказать проверяемой организации, как следует переделать документы, чтобы они соответствовали предъявляемым к ним требованиям (если такая переделка физически возможна). Конечно, едва ли найдутся настолько лояльные эксперты, которые, как в указанном фильме, готовы подписать чистые листы для того, чтобы проверяемая организация потом вписала нужный текст. Этот момент в фильме слудет признать совершенно фантастическим. Но отбор экспертов – это уже никакая не фантастика, это вполне реальная вещь.

## 6. ОБЪЕКТИВНАЯ И КАЧЕСТВЕННАЯ ЭКСПЕРТИЗА

«С умными людьми хорошо иметь дело и тогда, когда расходишься с ними во взглядах».

*М.А. Алданов. Азеф. (Лопухин о Плеве)*

Преимущественно негативный тон настоящей статьи и обсуждаемые вопросы, как и гипотетические в некоторых случаях примеры, а в некоторых случаях они не гипотетические, может ввести читателя в заблуждение, создавая впечатление, что статья целиком и полностью критикует все виды экспертиз, усматривая в них лишь зло, полагая

все их субъективными и коррумпированными. Это далеко не так.

Примеров объективной и некоррумпированной экспертизы нам известно намного больше, надо сказать, что отрицательные примеры в целом скорее редкость, их крайне мало.

Но даже один факт недобросовестной экспертизы – это уже существенное зло.

Ведь если в какой-то прекрасный уголок природы пришло тысяча посетителей на протяжении одной недели, и все они были аккуратны, не ломали деревьев, не жгли костров, не оставляли мусора, но тысяча первый посетитель оставил после себя горы мусора, сломал деревья, жег костры, или иным путем нарушал целостность и красоту природной красоты, то именно следы деятельности этого человека, одного на тысячу нормальных, создадут плачевную картину разрушения природы и нанесения ей, может быть, невосполнимого ущерба. Так же точно обстоят дела и в вопросах экспертизы – один недобросовестный эксперт уничтожит положительное мнение обо всем институте экспертизы.

Поэтому статья не разбирает вопросов положительной работы экспертов, а посвящена именно возможным причинам отрицательной работы. Мы пытаемся найти причину болезни не для того, чтобы «похоронить» пациента, а для того, чтобы его «вылечить».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Позднее выяснилось, что этот тип был, собственно, сумасшедший, но, знаете, армия есть армия, нацепите золотые погоны на дикую свинью и она будет командиром».

*Карел Чапек. Рассказ об утеранной ноге.*

Доверие диссертационным советом, возможно, недостаточно. Доверие Экспертным советам, возможно, излишне, может быть и безосновательно. Для чего нужны Экспертные советы, не вполне понятно. В зарубежных университетах защита диссертации означает присвоение научного звания, у нас это пока не так. Возможно, это неправильно. **Надо больше доверять диссертационным советам, так как именно в них наивысшая плотность истинных экспертов по решаемому вопросу.** Экспертные советы, по-видимому, пора упразднить.

Качество абитуриента определяется выпускной комиссией школы, ранее оно определялось приемной комиссией университетов. Возможно, раньше было меньше условий для коррупции. Целевые бюджетные места ранее были не бесплатными для предприятий, формирующих таковые. Теперь оно бесплатное, безнаказанное. Возможно, от этого следует отказаться. Надо больше доверять

«вступительным экзаменам», нежели «выпускным», так как те, кто принимают, не заинтересованы в плохом наборе, а те, кто выпускает, заинтересованы в наиболее высокой оценке знаний своих собственных учеников. **Единые государственные экзамены следует проводить в высших учебных заведениях, а не в школах.**

Собственных ученых мы оцениваем по цитированию на западе. Возможно, это крайне вредно. Королев, Кошкин, Калашников, Курчатов – и это только на одну букву, видимо, не получили бы при таких условиях государственного финансирования. Ленин, Сталин, Хрущев, Брежнев в такой системе должны были бы быть признаны великими учеными. Возможно, система эта не безупречна. **Надо больше доверять собственным журналам, журналам, печатающим статьи на русском языке, поскольку это – отражение отечественной науки.**

Выездные эксперты лишены мотивации. Возможно, что в этой ситуации их едва ли можно считать независимыми. Не исключено, что полезно сократить штат таких экспертов, но повысить их мотивацию в разы. Если требуется работа экспертов высокого уровня, надо создать для них такие условия, чтобы лучшие эксперты были заинтересованы в такой работе, и чтобы их заинтересованность никак не была связана с той организацией, корую им следует проверять. Следует не только исключить возможность влияния проверяемых организаций, но также и позаботиться о том, чтобы такое влияние было не только невозможным, но и не нужным, то есть эксперт должен понимать, что его оценивает, прежде всего, работодатель, и именно от этого зависит его оплата, которая достаточна для того, чтобы браться за это дело.

Данная статья не является трибуной для разобращения каких-либо конкретных «фактов коррупции», в ней лишь исследуются возможные источники для возникновения благоприятных условий для нее.

Таким образом, данная статья обсуждает возможные причины зарождения коррупции в области экспертизы. Сделано предположение, что в постсоветском пространстве центр доверия несколько сместился, например, меньше стало доверия приемным комиссиям

университетов, но больше доверия выпускным комиссиям школ, и так далее. Хорошо ли это, и к чему это может привести, обсуждается на гипотетических примерах. Делается вывод о том, что, по-видимому, ситуация весьма способствует зарождению коррупции, поэтому для борьбы с ней требуется «лечить» не следствия, а причину. Статья носит дискуссионный характер, автор не настаивает на своем персональном мнении, а лишь предлагает задуматься на эту тему тем, от кого зависит изменение ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Список экспертных советов ВАК РФ. URL: <http://vak.ed.gov.ru/237>
- [2] Поддержка программ развития научных журналов с целью их вхождения в международные наукометрические базы данных. URL: <http://xn--80aafbngjeja7auoph0at.xn--p1ai/about/goals>
- [3] Жмудь В.А. Что делать, чтобы коммерческая «помощь отечественной науке» не мешала ее развитию. Автоматика и программная инженерия. 2016. №4 (18). С. 149–163. URL: [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-18\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-18_0.pdf)
- [4] Жмудь В.А. Цели и результаты соревнований по импакт-факторам и h-индексу. Автоматика и программная инженерия. 2016. №4 (18). С. 104 – 127. URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-16.pdf>
- [5] Жмудь В. А. QUEST: «Государственная аккредитация вашего вуза» - бакалавриат, магистратура, аспирантура, специалитет. Автоматика и программная инженерия. 2016. №4 (18). С. 128–148. URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-17.pdf>



**Вадим Аркадьевич Жмудь** - заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.  
E-mail: [oa0\\_nips@bk.ru](mailto:oa0_nips@bk.ru)

630073, Новосибирск,  
просп. К.Маркса, д. 20

Статья поступила 20 августа 2018 г.

## Expertise against Corruption

V.A. Zhmud

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*Abstract:* The paper discusses possible reasons for the origin of corruption in the field of expertise. The assumption is made that in the post-Soviet space the center of trust has shifted somewhat, for example, there has been less confidence in the admissions commissions of universities, but more confidence in the graduation commissions of schools, and so on. Whether this is good, and to what it can lead, is discussed on hypothetical examples. It is concluded that, apparently, the situation is very conducive to the emergence of corruption, so to combat it it is required to "treat" not the consequences, but the cause.

The article is of a debatable nature, the author does not insist on his personal opinion, but only suggests to reflect on this topic to those on whom the change of the situation depends.

*Key words:* expertise, corruption, grants, financing, science, higher education, accreditation

#### REFERENCES

- [1] Spisok ekspertnykh sovetov VAK RF. URL: <http://vak.ed.gov.ru/237>
- [2] Podderzhka programm razvitiya nauchnykh zhurnalov s tsel'yu ikh vkhozheniya v mezhdunarodnyye nauko-metricheskiye bazy dannykh. URL: <http://xn--80aafbngaja7auoph0at.xn--p1ai/about/goals>
- [3] Zhmud V.A. Chto delat', chtoby kommercheskaya «pomoshch' otechestvennoy nauke» ne meshala yeye razvitiyu. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. №4 (18). S. 149–163. URL: [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-18\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-18_0.pdf)
- [4] Zhmud V.A. Tseli i rezul'taty sorevnovaniy po impakt-faktoram i h-indeksu. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. №4 (18). S. 104 – 127. URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-16.pdf>
- [5] Zhmud V. A. QUEST: «Gosudarstvennaya akkreditatsiya vashogo vuza» - bakalavriat, magistratura, aspirantura, spetsialitet. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. №4 (18). S. 128–148. URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-4-2016-17.pdf>



**Vadim Arkadievich Zhmud** – Head of the Department of Automation in NSTU, Professor, Doctor of Technical Sciences.

E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. K. Marksa, h. 20

The paper was received 20.08.2018.



# Почему закручены галактики

В.А. Жмудь

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*Аннотация:* Принято считать, что форма галактик определяется наличием в их центре так называемых «черных дыр». Однако вся теория, ведущая к признанию существования «черных дыр» представляется сомнительной, и, во всяком случае, эта теория в настоящее время в лучшем случае может быть охарактеризована как интересная гипотеза, не получившая никаких экспериментальных доказательств. Вместе с тем следует признать удивительное постоянство общих черт известных галактик (хотя такое постоянство известны и скопления иной формы, отличающейся от наиболее характерной). Это постоянство состоит в том, что галактики в целом расположены вблизи некоторой плоскости, причем основная масса звезд располагается в некотором отдалении от центра, как бы в кольце; кроме того, можно выделить нечто наподобие рукавов, образующих спирали. Бесспорно, это должно быть следствием действия некоторых физических законов в совокупности. Закручивание галактик удивительным образом напоминает закручивание потока воды, сливающегося в узкое отверстие. Эта общность подмечена многими, но к настоящему времени нет убедительного ответа на вопрос о причине такого закручивания. Что касается закручивания воды, традиционно это объяснялось действием сил Кориолиса, из чего, казалось бы, должно следовать, что в Северном и в Южном полушарии такое закручивание должно происходить в разных направлениях. Однако легко показать, что никакого выделенного направления не существует. Простой опыт с водой показывает, что направление закручивания можно навязать извне, после чего оно сохраняется, поскольку поддерживает само себя. Если бы закручивание имело внешние причины, то после того, как начальным движением было навязано «неправильное» направление, соответствующие действия внешних сил должны были бы вернуть ситуацию к той, которая соответствует результату действия этих сил, чего на практике не происходит. Следовательно, закручивание возникает в результате каких-то иных сил. Высказывается гипотеза о природе этого феномена.

*Ключевые слова:* общая физика, астрофизика, механика, релятивизм, теория относительности, галактики, спираль, звезды, Солнечная система

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, большинство галактик имеет характерную форму в виде плоской закрученной спирали [1–3]. Эта форма всеми узнаваема (см. Рис. 1 – 3), мы привыкли к тому, что это так, и почти никогда не задумываемся о причинах такой формы. Принято считать, что форма галактик определяется наличием в их центре так называемых «черных дыр» [3].



Рис. 1. Фотография галактики из публикации [1]

Однако вся теория, ведущая к признанию существования «черных дыр» представляется сомнительной, и, во всяком случае, эта теория в настоящее время в лучшем случае может быть охарактеризована как интересная гипотеза, не получившая никаких экспериментальных доказательств.



Рис. 2. Фотография галактики из публикации [2]

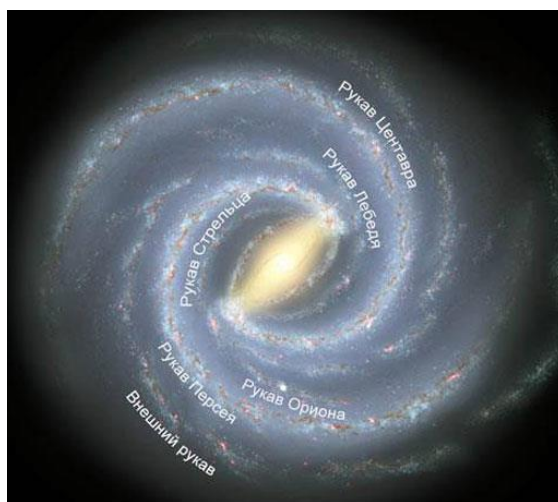
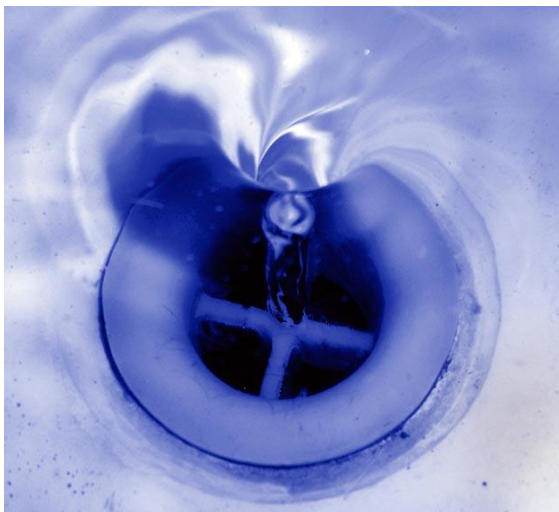


Рис. 3. Фотография галактики помечена о названиях отдельных рукавов из публикации [3]

Вместе с тем следует признать удивительное постоянство общих черт известных галактик (хотя такое постоянство известны и скопления иной формы, отличающейся от наиболее характерной).

Это постоянство состоит в том, что галактики в целом расположены вблизи некоторой плоскости, причем основная масса звезд располагается в некотором отдалении от центра, как бы в кольце; кроме того, можно выделить нечто наподобие рукавов, образующих спирали. Бесспорно, это должно быть следствием действия некоторых физических законов в совокупности.

Закручивание галактик удивительным образом напоминает закручивание потока воды, сливающегося в узкое отверстие (см. *Рис. 4* [4], см. *Рис. 5* [5]).



*Рис. 4.* Воронка воды из публикации [4]



*Рис. 5.* Воронка воды вблизи Загорской ГЭС из публикации [5]

Эта общность подмечена многими, но к настоящему времени нет убедительного ответа на вопрос о причине такого закручивания. Что касается закручивания воды, традиционно это объяснялось действием сил Кориолиса [4], из чего, казалось бы, должно следовать, что в Северном и в Южном полушарии такое закручивание должно происходить в разных

направлениях. Однако легко показать, что никакого выделенного направления не существует. Простой опыт с водой показывает, что направление закручивания можно навязать извне, после чего оно сохраняется, поскольку поддерживает само себя. Если бы закручивание имело внешние причины, то после того, как начальным движением было навязано «неправильное» направление, соответствующие действия внешних сил должны были бы вернуть ситуацию к той, которая соответствует результату действия этих сил, чего на практике не происходит. Следовательно, закручивание возникает в результате каких-то иных сил. Высказывается гипотеза о природе этого феномена.

Данная статья предлагает гипотезу о возможных причинах столь удивительного единства форм галактик.

## 1. БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Внутри полого астероида гравитация равна нулю. Это следует из простых правил применения физических законов, связанных с методами расчета гравитации от суммы массивных тел, в данной работе мы на этом не будем останавливаться, поскольку это многократно доказано.

По этой же самой причине и внутри скопления галактик, в метagalactиках и внутри скопления звезд в их центре гравитация равна нулю или близка к нулю в сравнении с гравитацией вне этого кольцевого скопления.

По мере удаления от центра она возникает и направлена к центру. Это следует из простых физических соображений, если читатель с нами не согласен, отсылаем его к школьным учебникам физики.

## 2. СЛЕДСТВИЕ ОТМЕЧЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ

По указанной причине в галактиках действует не законы Кеплера [4], которые выведены для точечного источника, а иная закономерность. Напомним, что законы Кеплера устанавливают зависимость свойств орбиты планет и их скоростей для стационарных орбит. Ситуация здесь крайне проста: если на данной орбите планета движется недостаточно быстро, то она постепенно будет приближаться к звезде и в конце концов на нее упадет. Если же планета движется слишком быстро, то она постепенно будет удаляться от звезды и в конце концов покинет ее окрестности. Поэтому при условии, что с момента образования планет прошло достаточно много времени, миллиарды лет и более, то даже небольшое отклонение от

«правильной» скорости, которая соответствует стационарной орбите на этом удалении от звезды, любая планета с «неправильной» скоростью либо упала на звезду, либо покинула область ее притяжения. Остались на орбите только те планеты, параметры движения которых соответствуют требуемому соотношению.

Отметим, что из этого, по меньшей мере, следует, что не совсем правильным было бы утверждать, что в процессе образования планет Солнечной системы участвовали все те массы вещества, которые в настоящее время в совокупности образуют планеты этой системы и пояс астероидов. По-видимому, в начале таких прото-планет было намного больше, но часть из них упала на Солнце, часть покинула Солнечную систему, и лишь те, которые нам сейчас известны, остались на стационарных орбитах вследствие счастливого стечения обстоятельств, т.е. потому, что их скорости соответствовали соотношениям, которые известны как Закон Кеплера [4].

Таким образом, указанные Законы не применимы к ситуации с галактиками и метагалактиками, поскольку в них иные центры притяжения. Если при описании орбит планет вокруг звезд, как и при описании орбит спутников планет вокруг планет, можно считать условно, что центр притяжения расположен в точке, вокруг которой вращается интересующее нас небесное тело, по меньшей мере, вся масса сосредоточена в центре вращения, то ситуация с галактиками принципиально иная. Вся масса сосредоточена на периферии, в кольцах и рукавах небесных тел, звезд, совершающих движение вокруг общего центра масс.

Косность представлений тех, кто ищет и не находит в центрах галактик источник притяжения, который бы обладал массой, превышающей массу всех вращающихся около этого источника тел, приводит к тому, что, хотя такого центра и не находят, его выдумывают, помещают в геометрический центр галактик, приписывают ему невозможные свойства, которые состоят в гипотетически сверхгигантской массе и полном отсутствии какого-либо видимого излучения.

Здесь «утопающие схватились за соломинку», а именно: люди, не способные представить роение звезд вокруг собственного роя, а не вокруг уникального сверхмассивного тела, нашли «ответ» на искомый вопрос в теории относительности, которая предполагает существование таких тел, называемых «черными дырами». Безусловно, никакие фактические наблюдения не подтверждают наличия таких «черных дыр», подтверждается лишь такое положение звезд, которое можно попытаться объяснить, как «движение вокруг массивного центра», но на самом деле объяснить его при такой гипотезе никак нельзя.

Ведь если бы в центре галактики было массивное черное тело, то большинство звезд летело бы не по спирали и не по кругу, а в радиальном направлении, непосредственно к этому центру.

Следует просто отбросить все фантазии и исходить из того, что на самом деле наблюдается, и поэтому достоверно имеет место, а именно: основная масса звезд сосредоточена на периферии галактик, в центре их пренебрежимо мало. Также будем исходить из доказанного факта, что при таком расположении в центре гравитационные силы значительно слабее, чем на периферии. Даже если мы предположим равномерное заполнение некоей сферы звездами, то и в этом случае в центре такой сферы притяжение к центру будет существенно слабее, в самом ее центре оно будет равным нулю, а на периферии притяжение к центру будет максимально.

Сравним две ситуации: 1) при обращении планеты вокруг звезды ситуация такова – чем дальше от центра, точечного источника, тем притяжение слабее; 2) в случае с кольцевым скоплением массивных тел ситуация иная – чем дальше от центра, тем больше масса внутри сферы, на поверхности которой находится данная точка, и именно эта масса определяет величину гравитационной силы, направленной внутрь этой сферы. А чем ближе к центру, тем меньше радиус этой сферы, тем меньше звезд, которые попадают в эту сферу. А звезды вне этой сферы в среднем уравнивают гравитационные силы друг от друга и не сказываются на гравитационной результирующей силе, прикладываемой к объекту в этой точке на поверхности указанной сферы.

Поэтому в самом центре галактики или иного кольцевого скопления астрономических объектов гравитационная сила почти отсутствует. В этой области звезды ничто не удерживает. Если на некоторой начальной скорости звезда зайдет в эту область, то она будет двигаться без изменения скорости (без ускорения), пройдет эту область **и вновь окажется в кольцевом скоплении.**

**Звезды из центра галактики стремятся к ее периферии и там удерживаются.** Напротив, **звезды, располагающиеся в кольцевом скоплении удерживаются там силами гравитации.**

Если звезда оказывается **вне этого кольцевого скопления**, гравитационная сила, приложенная к ней, направлена к центру. **Звезды за границей кольцевого скопления стремятся к этому скоплению.**

То есть **имеются условия, которые возвращают звезды в кольцевую область.**

Кроме того, вследствие движения звезд центр масс все время перемещается, как бы совершает прецессию.



Гравитационные силы действуют через поля и притягивают звезды не к истинному центру масс, а к воспринимаемому ими центру масс, который отличается также еще и вследствие ограниченной скорости распространения гравитационного взаимодействия. Они притягиваются к прошлому положению центра масс. Для каждой звезды это иное место.

При этом каждая звезда воспринимает поле каждой массы с той задержкой, которая порождена удалением этой массы.

Поэтому для каждой звезды восприятие того, где находится центр масс, всегда ложное и индивидуальное. И еще происходит раскачка, разбрасывание звезд, как консервные банки на веревке за автомобилем. Если автомобиль (аналогия центра масс) совершает поворот с радиусом  $R$ , то на периферии при удалении, например, на  $10R$  радиус в 10 раз больше, и угловое ускорение то же самое, а линейное ускорение также в 10 раз больше. Поэтому скорость растет. Галактика закручивает, ускоряет звезды. Перемещение центра галактики (фактическое и воспринимаемое) раскачивает ситуацию, раскручивает звезды как мячики на веревочке. Они будут двигаться по кругу. Если центр веревки в руке совершает обращения с малой линейной скоростью и с малым радиусом, то сами мячики совершают обращения с большой скоростью и с большим радиусом.

Это также, возможно, объясняет относительно плоскую форму всех галактик, и даже возможно, что это объясняет тот факт, что планеты зачастую лежат в одной и той же плоскости и движутся в одном и том же угловом направлении.

Не будем торопиться с этим выводом, но не будем и отрицать возможность того, что Солнце также разгоняло планеты по тому же принципу. Возможно, планеты совместно поддерживают вращение друг друга.

Вернемся к звездам. Тут уже меньше основания для сомнений. Звезды совместно разгоняют друг друга и формируют форму галактики.

Представим волчок, к которому привязаны на резинках шарики разной массы. И на резинках разной длины. Шарики будут лететь по кругу приблизительно в данной плоскости.

Галактика – это как бы то же самое, но без волчка в центре и без резинок. Роль волчка играет центр масс, а роль резинок – силы гравитации. У резинок имеется некоторое равновесие (если резинка растягивается слишком сильно, то сила притяжения к центру растет вследствие закона Гука, и шарики возвращаются на меньшее удаление, чтобы резинка не так сильно растягивалась). Это аналогично равновесию в кольце галактик. При удалении звезды слишком далеко от центра галактики гравитационные силы звезду

возвращают в кольцо. Если резинка ослаблена, она не работает, силу она не порождает. Но движение шариков (звезд) при отсутствии силы удаляет их от центра, что опять приводит к растяжению резинки (или удалению звезды от центра). Эти две силы – центростремительная и центробежная – уравнивают друг друга. Поэтому радиус стабилизируется. Поэтому звезды группируются в торе.

Почему звезды группируются в рукава? По-видимому, потому что локально они притягиваются друг к другу.

На краях рукавов сила, вовлекающая звезды внутрь, велика, они с краев летят к центру рукавов. Но внутри рукавов сила отсутствует, ничто не удерживает звезды внутри рукава, они летят прочь из рукава, но при выходе из него опять ощущают воздействие сил, возвращающих их в рукав.

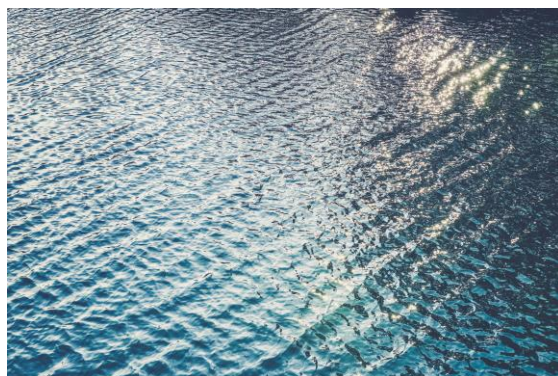
### ДАЛЬНЕЙШИЕ АНАЛОГИИ

Процессы отрицательной обратной связи стабилизируют картину.

Формирование рукавов некоторым образом по своей природе напоминает формирование ряби песка на дне мелкого водоема, а также ряби воды на поверхности и ряби песка на ветру, барханы. Чередование густых и пустых полос имеет те же причины, что и эта рябь (см. *Рис. 6*, [6], *Рис. 7* [7]).



*Рис. 6.* Рябь на песке из публикации [6]



*Рис. 7.* Рябь на воде из публикации [7]

Почему возникает рябь? Даже небольшое вспучивание создает положительную обратную связь для увеличения вспучивания. Складка «парусит» больше, это приводит к росту складки. Но после определенной величины положительная обратная связь превращается в отрицательную. Чем больше складка, тем она менее устойчива, так как вершина складки обгоняет середину, и она обрушивается. В случае с волнами это – возникновение барашков. При малой величине складки положительная обратная связь приводит к росту величины складки, при большой величине складки отрицательная обратная связь приводит к уменьшению величины складки. Тем самым имеется стабилизация размера складки, как бы отклонение от стандарта всегда вызывает силы, возвращающие к стандарту. Это стабилизирует и период, и высоту складок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья не решает поднятых вопросов, а является лишь введением в проблему и приглашением к дискуссии. Данная дискуссия связана с дискуссией на тему релятивизма [9–21]. Все эти вопросы завязаны друг с другом, принятие лишь частично позиции автора не прояснит всей полноты предлагаемой картины. Вместе с тем, данная статья необходима для дополнения этой предлагаемой картины, поскольку указанный цикл работ направлен на создание альтернативной теории, исключающей существование «черных дыр», и поэтому необходимо дать альтернативное видение причин той характерной формы галактик, какие известны из астрономии, и которая в настоящее время чаще всего трактуется именно как следствие наличия внутри них «черных дыр».

Без теоретического взгляда на эту проблему предлагаемая концепция не была бы достаточно полной.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Астрономы нашли по следам "звездной крови" галактику-"убийцу". <https://ria.ru/studies/20140402/1002229660.html>
- [2] К Солнечной системе приближается галактика-гигант. <http://earth-chronicles.ru/news/2016-01-27-88425>
- [3] Интересные факты о галактике Млечный Путь. <https://www.infoniac.ru/news/Interesnye-fakty-o-galaktike-Mlechnyi-Put.html>
- [4] Силы Кориолиса влияют на поведение воды. [http://www.cawater-info.net/all\\_about\\_water/?m=201207](http://www.cawater-info.net/all_about_water/?m=201207)
- [5] Загорская ГЭС. <http://venividi.ru/node/10793>
- [6] Википедия. Законы Кеплера. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Законы\\_Кеплера](https://ru.wikipedia.org/wiki/Законы_Кеплера)
- [7] Физика барханов, или как образуются песчаные волны. <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/sandphysic/dunes.htm>
- [8] Рябь на воде [https://clipart-db.ru/image/water\\_bg\\_103/](https://clipart-db.ru/image/water_bg_103/)
- [9] В.А. Жмудь. Новый взгляд на опыт Майкельсона. Сборник научных трудов НГТУ, 2004. N 4 (38). С. 157–164.
- [10] В.А.Жмудь. О природе релятивистской концепции поправки к данным от глобальных систем GPS и ГЛОНАСС: взгляд с позиции теории замкнутых систем (автоматики). Автоматика и программная инженерия. 2014. № 4(10). С.87-141. [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-11\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-11_0.pdf)
- [11] Жмудь В.А. Динамическое полевое взаимодействие, теория относительности и квантовая теория. Часть I. - Сб. научн. трудов НГТУ 2000, Новосибирск, N 1(18), с.131–138.
- [12] Жмудь В.А. Динамическое полевое взаимодействие, теория относительности и квантовая теория. Часть II. - Сб. научн. трудов НГТУ 2000, Новосибирск, N 3(20), с.131–137.
- [13] Жмудь В.А. Обоснование нерелятивистского неквантового подхода к моделированию движения электрона в атоме водорода. Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск. 2009. 3(57). С. 141–156.
- [14] The modeling of the electron movements inside the atom on the base of the non-quantum physics. Zhmud, V.A., Bugrov, S.V. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.17–23.
- [15] Жмудь В.А. Теорема Котельникова-Найвиста-Шеннона, Принцип Неопределенности и Скорость света. Автоматика и программная инженерия 2014. №1 (7). С. 127–136.
- [16] Жмудь В. А. К новым гипотезам в области трактовки понятий электродинамики, гравидинамики и физического вакуума. Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4 (6). С. 82–89.
- [17] Жмудь В. А. Информационный подход к задачам метрологии и физики. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 3 (13). С. 80–109.
- [18] Zhmud V.A. About the essence of the Relativist concept to the Corrections of Processed Data from the Global Cosmic Systems GPS and GLONASS. Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10 – 13 September, 2011, Additional volume, p.56–66.
- [19] Zhmud V.A. On the Relativist Corrections of Processed Data from the Global Cosmic Systems GPS and GLONASS // Proceedings of DST-RFBR-Sponsored Second Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics. NSTU, Novosibirsk, Russia. 9th – 12th September 2011. Новосибирск, НГТУ. p. 251–255.
- [20] Жмудь В. А. Корпускулярно-волновая дилемма и её противопоставление дуальности. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 2 (16). С. 109–119.
- [21] В.А. Жмудь. Дисперсионная трактовка эффекта Хаббла. (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 131–148.





**Vadim Arkadievich Zhmud** –  
Head of the Department of  
Automation in NSTU, Professor,  
Doctor of Technical Sciences.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. K. Marksa, h. 20

Статья поступила 20 августа 2018 г.

## Why Galaxies are Twisted

V.A. Zhmud

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*Abstract:* It is generally accepted that the shape of galaxies is determined by the presence of so-called "black holes" in their center. However, the whole theory leading to the recognition of the existence of "black holes" is doubtful, and, at any rate, this theory at the present time can at best be characterized as an interesting hypothesis that has not received any experimental evidence. At the same time, it is necessary to recognize the surprising constancy of the common features of known galaxies (although such constancy is also known for clusters of a different form, which differs from the most characteristic one). This constancy is that galaxies as a whole are located near a certain plane, and the main mass of stars is located some distance from the center, as if in a ring; In addition, it is possible to distinguish something like the sleeves that form the spiral. Undoubtedly, this should be the result of the action of some physical laws in the aggregate. The twisting of galaxies in an amazing way resembles the twisting of a stream of water that merges into a narrow hole. This community has been noticed by many, but by now there is no convincing answer to the question of the reason for this twisting. As for water curling, this was traditionally explained by the action of Coriolis forces, which, it would seem, should follow that in the Northern and Southern Hemispheres such twisting should occur in different directions. However, it is easy to show that there is no distinguished direction. A simple experience with water shows that the direction of twisting can be imposed from the outside, after which it is preserved, since it supports itself. If the curling had external causes, then after the initial movement was imposed "wrong" direction, the corresponding actions of external forces would have to return the situation to the one that corresponds to the result of the action of these forces, which in practice does not occur. Consequently, the twisting arises as a result of some other forces. There is a hypothesis about the nature of this phenomenon.

*Key words:* general physics, astrophysics, mechanics, relativism, theory of relativity, galaxies, spiral, stars, solar system

### REFERENCES

- [1] Astronomy nashli po sledam "zvezdnoy krovi" galaktiku-"ubiytsu". <https://ria.ru/studies/20140402/1002229660.html>
- [2] K Solnechnoy sisteme priblizhayetsya galaktika-gigant. <http://earth-chronicles.ru/news/2016-01-27-88425>
- [3] Interesnyye fakty o galaktike Mlechnyy Put'. <https://www.infoniac.ru/news/Interesnye-fakty-o-galaktike-Mlechnyi-Put.html>
- [4] Cily Koriolisa vliyayut na povedeniye vody. [http://www.cawater-info.net/all\\_about\\_water/?m=201207](http://www.cawater-info.net/all_about_water/?m=201207)
- [5] Zagorskaya GES. <http://venividi.ru/node/10793>
- [6] Vikipediya. Zakony Keplera. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Zakony\\_Keplera](https://ru.wikipedia.org/wiki/Zakony_Keplera)
- [7] Fizika barkhanov, ili kak obrazuyutsya peschanyye volny. <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/sandphysic/dunes.htm>
- [8] Ryab' na vode [https://clipart-db.ru/image/water\\_bg\\_103/](https://clipart-db.ru/image/water_bg_103/)
- [9] V.A. Zhmud'. Novyy vzglyad na opyt Maykel'sona. Sbornik nauchnykh trudov NGTU, 2004. N 4 (38). S. 157–164.
- [10] V.A. Zhmud'. O prirode relyativistskoy kontseptsii popravki k dannym ot global'nykh sistem GPS i GLONASS: vzglyad s pozitsii teorii zamknutykh sistem (avtomatiki). Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2014. № 4(10). S.87-141. [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-11\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-11_0.pdf)
- [11] Zhmud V.A. Dinamicheskoye polevoye vzaimodeystviye, teoriya otnositel'nosti i kvantovaya teoriya. Chast' I. - Sb. nauchn. trudov NGTU 2000, Novosibirsk, N 1(18), s.131–138.
- [12] Zhmud V.A. Dinamicheskoye polevoye vzaimodeystviye, teoriya otnositel'nosti i kvantovaya teoriya. Chast' II. - Sb. nauchn. trudov NGTU 2000, Novosibirsk, N 3(20), s.131–137.
- [13] Zhmud V.A. Obosnovaniye nerelyativistskogo nekvantovogo podkhoda k modelirovaniyu dvizheniya elektrona v atome vodoroda. Sbornik nauchnykh trudov NGTU. Novosibirsk. 2009. 3(57). S. 141–156.
- [14] The modeling of the electron movements inside the atom on the base of the non-quantum physics. Zhmud, V.A., Bugrov, S.V. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.17–23.
- [15] Zhmud V.A. Teorema Kotel'nikova-Nayvista-Shennona, Printsip Neopredelennosti i Skorost' sveta. Avtomatika i programmaya inzheneriya 2014. №1 (7). S. 127–136.
- [16] Zhmud V. A. K novym gipotezam v oblasti traktovki ponyatiy elektrodinamiki, gravidinamiki i fizicheskogo vakuuma. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2013. № 4 (6). S. 82–89.
- [17] Zhmud V. A. Informatsionnyy podkhod k zadacham metrologii i fiziki. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2015. № 3 (13). S. 80–109.
- [18] Zhmud V.A. About the essence of the Relativist concept to the Corrections of Processed Data from

the Global Cosmic Systems GPS and GLONASS. Proceedings of RFBR and DST Sponsored “The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics”, 10 – 13 September, 2011, Additional volume, p.56–66.

- [19] Zhmud V.A. On the Relativist Corrections of Processed Data from the Global Cosmic Systems GPS and GLONASS // Proceedings of DST-RFBR-Sponsored Second Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics. NSTU, Novosibirsk, Russia. 9th – 12th September 2011. Novosibirsk, NGTU, p. 251–255.
- [20] Zhmud V. A. Korpuskulyarno-volnovaya dilemma i yeyo protivopostavleniye dual'nosti. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. № 2 (16). S. 109–119.

- [21] V.A. Zhmud. Dispersionnaya traktovka effekta Khabbla. (Novosibirsk, Rossiya). Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2016. № 1 (15). S. 131–148.



**Vadim Arkadievich Zhmud** – Head of the Department of Automation in NSTU, Professor, Doctor of Technical Sciences.  
E-mail: [oao.nips@bk.ru](mailto:oao.nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. K. Marksa, h. 20

The paper was received 20.08.2018.

# Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия»

## ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА

Автоматика, робототехника, автоматизированные системы, программные системы и средства (программная инженерия), защита информации, сетевые технологии, программные платформы, мультиагентные системы, облачные технологии, инновации, информационные технологии, моделирование систем, свободное и открытое программное обеспечение.

Тематика журнала наиболее близка к следующим трем научным специальностям, согласно перечню ВАК:

**05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации.**

**05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям).**

**05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.**

Также журнал заинтересован в опубликовании научных статей, по своей тематике тяготеющих к следующим научным специальностям.

05.02.05 Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

05.11.08 Радиоизмерительные приборы.

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами.

05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов компьютерных сетей.

05.13.12 Системы автоматизации проектирования (по отраслям).

05.13.15 Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети.

05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

05.13.19 Методы и системы защиты информации, информационная.

Также журнал не исключает возможности публикации научных статей по тематике, близкой к следующим специальностям.

01.04.21 Лазерная физика.

01.01.09 Дискретная математика и математическая кибернетика.

01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики.

05.11.01 Приборы и методы измерения (по видам измерений).

05.09.07 Светотехника.

05.11.03 Приборы навигации.

01.04.03 Радиофизика.

05.11.15 Метрология и метрологическое обеспечение.

05.11.17 Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

05.11.18 Приборы и методы преобразования изображений и звука.

05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

05.12.14 Радиолокация и радионавигация.

Статьи по тематикам вне этого перечня журнал может отклонить по признаку «не соответствие тематике журнала», вне зависимости от их качества, оригинальности и научного содержания.

## СВЯЗЬ С ПРИОРИТЕТНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ

Тематика журнала связана со следующими приоритетными направлениями развития науки РФ и критическими технологиями.

**Приоритетные направления** развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: «**Информационно-телекоммуникационные системы**».

Перечень **критических технологий** Российской Федерации: «**Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии**», «**Технологии информационных, управляющих, навигационных систем**», «Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта».

## ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ ЖУРНАЛА

Научные, педагогические и инженерные кадры, аспиранты, докторанты и студенты, представители бизнеса в области информационных технологий и автоматике.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

К опубликованию принимаются оригинальные научные статьи, ранее не опубликованные (ни полностью, ни частично) ни в каких средствах информации, включая научные и иные журналы и электронные сайты.

**Не допускается дословное цитирование без кавычек из чужих источников (плагиат) и из своих источников (автоплагиат).**

Допускается опубликование ранее опубликованных авторами иллюстраций и уравнений, если это требуется для понимания текста.

Иллюстрации из чужих источников запрещены к использованию в собственных статьях кроме случаев, когда без их цитирования невозможно понять оригинальные положения статьи; но и в этом случае они должны быть снабжены ссылками на эти источники. **Займствование иллюстраций без ссылок на источник приравнивается к плагиату.**

Статья должна содержать **новые научные результаты** и соответствовать тематике журнала. Иллюстрации – черно-белые или цветные (цветные – предпочтительно).

Формат страницы: А4, текст в две колонки, шрифт *Times New Roman*, размер основного текста 10 пт через один интервал. Заголовок (24 пт), сведения об авторах (11 пт), аннотация (9 пт) и ключевые слова (9 пт) – в одну колонку. Основной текст (10 пт) и литература (9 пт) – в две колонки. Если список литературы превышает 20 наименований, размер шрифта допускается 8 пт. Если рисунок, формула или таблица требуют использования полного пространства двух колонок, разрешается это делать в разрыве текста из двух колонок с последующим восстановлением двух колонок. Не следует нарушать внешние границы текста.

Информация об авторах дается в конце статьи, желательна фотография, электронная почта и адрес места работы с указанием страны, города, почтового отделения, улицы и номера дома. Перечень авторов дается на первой странице (только Фамилии, И.О. место работы, город, страна).

Статья обязательно должна содержать аннотацию (200–250 слов) и ключевые слова (8–10 слов или словосочетаний), литературные ссылки, необходимые для понимания статьи или для указания на источники цитирования. При этом ссылки на собственные публикации не должны преобладать: желательно, чтобы их количество не превышало 20% общего числа ссылок. Приветствуются ссылки на иностранные источники. Желательно, чтобы ссылок на такие источники было не менее 30%, что будет свидетельствовать о широком знакомстве авторов статью не только с отечественными достижениями в области по теме публикации, но и с международными достижениями в этой области.

Мы просим авторов не использовать автоматическую нумерацию рисунков, таблиц, разделов. Автоматическая нумерация списка литературных источников допускается. Также мы просим не использовать двойную и более сложную нумерацию таблиц и рисунков, а

также следить за соответствием этой нумерации ссылкам на нее в тексте. Не желательно использовать рисунки или таблицы без ссылки на них в тексте. Если рисунок или таблица единственные, они не нумеруются.

Также необходимо предоставлять перевод на английский язык всей информации, кроме основного текста (название, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, перечень литературы на кириллице).

### СТРУКТУРА СТАТЬИ

Объем аннотации не менее 200–250 слов продиктован тем, чтобы англоязычные читатели могли ознакомиться не только с темой статьи, но и с ее методами и результатами. Англоязычный вариант названия, аннотации и ключевых слов должен быть как можно более точным переводом русскоязычного варианта этой информации. Транслитерацию фамилий автора необходимо делать так, как это делалось в предшествующих публикациях этого автора и как это сделано в международном паспорте (при наличии).

Настоятельно рекомендуется структурирование статьи по IMRAD, т.е. статья должна содержать: Введение, Методы, Результаты, Обсуждение. Названия второго и третьего разделов при более детальной структуре могут отличаться, но по сути должны содержать указанные сведения. Раздел «Обсуждение» может быть назван «Заклучение», однако, лучше, если статья будет содержать по отдельности Обсуждение, Заклучение и Благодарности (при необходимости).

Также смотрите рекомендации по структурированию статьи на сайте <http://sokogskriv.no/en/writing/structure/the-imrad-format/>.

Используйте раздел **Введение**, чтобы показать, что вы хорошо осведомлены о своей области исследований и существующих исследованиях. Ваше введение должно содержать:

- резюме существующих исследований по этому вопросу;
- ваше заявление о тезисе, гипотезе или вопросе исследования;
- теорию (если уместно);
- введение в область знаний, текущая ситуация или сложившаяся практика.

Введение должно объяснить, что авторы знают, и о чем они не уверены. Оно должно объяснять и обобщать, но оно также должно задавать вопросы, разъяснять, сравнивать и т. д. Все, что авторы пишут здесь, должно быть связано с темой их исследования.

Используйте раздел **Метод**, чтобы показать, что вы пришли к своим результатам, применяя действующие и надежные методы. Объясните, что вы сделали; какова методика ваших исследований (если она нова, в чем ее новизна),



как вы использовали ваши дополнительные профессиональные знания, полученные в результате ранее выполненных вами исследований или ваши новые гипотезы, как вы это сделали. Укажите, что вы дополнительно учли, в отличие ранее опубликованных статей, что дополнительно применили, и т. д., возможно, чем вы пренебрегли, и почему это допустимо, и что это позволило сделать.

В разделе **Способ** следует показать, как вы пришли к своим результатам.

В разделе **Результаты** приводятся собственно результаты. Наибольшая часть вашей статьи должна быть посвящена вашим результатам, выводам, полученным данным. В этом разделе необходимо представить результаты так, чтобы это было понятно читателю.

В **Заключении** уместно дать рекомендации (которые будут применяться на практике), указать направления дальнейших исследований. Опишите кратко, какой ответ на какой вопрос вы нашли в результате своего исследования. Если у вас есть гипотеза, была ли она была подтверждена, опровержена или уточнена. Не вводите здесь проблемы, о которых ранее не упоминалось. Если результаты вашего исследования не дают научных оснований, чтобы сделать какие-либо выводы, не следует завершать статью такими выводами. Даже один необоснованный вывод ставит под сомнение всю статью. Выводы должны в точности следовать из содержания статьи, не быть необоснованно расширенными или излишне обуженными.

#### РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

**Присланные статьи подвергаются анонимному рецензированию.** Редакционная коллегия вправе отклонить статью от опубликования с указанием причин этого отклонения или предложить доработать статью по замечаниям рецензента.

Если, по мнению редакционной коллегии, к тексту статьи требуются примечания, редакционная коллегия вправе включать таковые, извещая предварительно об этом авторов. Авторы могут по своему усмотрению внести исправления в текст (устраняющие необходимость примечания), либо согласиться с примечанием.

#### ОТВЕТСТВЕННОСТЬ АВТОРОВ

Ответственность за научное содержание статей и за качество перевода на английский язык лежит на авторе (авторах) публикации. Факт направления статьи в редакционную коллегия трактуется редакционной коллегией как заключение устного договора на передачу исключительных прав опубликования данного материала редакционной коллегии, в случае, если статья не будет отклонена.

Исключительность прав понимается в том смысле, что авторы декларируют, что данная статья не была направлена, не направлена и не будет направлена ни в какие иные СМИ на языке представленного оригинала. Указанные права не препятствуют опубликованию данной статьи теми же авторами на другом языке, кроме русского и английского. При этом редакционная коллегия обязуется обеспечить научное рецензирование, редактирование и опубликование с открытым доступом.

Авторский коллектив обязуется обеспечить отсутствие плагиата, включая автоплагиат, и выполнение других требований, опубликованных в этом разделе. **Статья, отклоненная вследствие выявления наличия плагиата вне зависимости от объема такового, отклоняется окончательно и не принимается даже после доработки.** В случае повторной попытки опубликования плагиата тем же автором журнал прекращает какое-либо взаимодействие с этим автором и в дальнейшем никакие статьи от этого автора не принимает.

Российские авторы должны присылать перед окончательным опубликованием статьи скан-файл **экспертного заключения** о возможности **открытого опубликования** статьи в ее окончательном виде. Бумажный вариант досылается позже. Если бумажный вариант не получен, ответственность за его наличие и за совпадение электронного варианта с бумажным вариантом лежит на авторском коллективе.

Все вопросы по опубликованию можно уточнить по электронной почте.

#### ЯЗЫК ПУБЛИКАЦИИ

Научный журнал Автоматика и программная инженерия (АиПИ) издается на двух языках: русском и английском. Английская версия журнала выходит позже. Авторам предлагается присылать на адрес главного редактора [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru) свои статьи для публикации в формате *Word-2003* на двух языках. Допускается присылать статьи для первого рецензирования на одном языке (русском или английском) с последующим обязательным предоставлением окончательной версии статьи на двух языках. Подписи на иллюстрациях также должны делаться на двух языках, или только на английском (в этом случае в русскоязычном варианте статьи в подписанных подписях следует давать перевод этих подписей).

В случае предоставления авторами статьи только на одном языке, **опубликование на другом языке не гарантируется.** В этом случае по усмотрению редакции публикуются только краткие сведения (аннотация, ключевые слова, сведения об авторах и библиографические ссылки).

Желательно указание индекса УДК и (или) МКИ.

Допускается прием к опубликованию статей только на английском языке для англоязычных авторов. В этом случае англоязычная версия публикуется в русскоязычной и англоязычной версии журнала.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Редакционная коллегия предлагает соблюдать сложившиеся стилистические и оформительские признаки стиля АиПИ в части заголовков, подрисуночных подписей, оформления библиографических ссылок и т. д.

Пожалуйста, используйте курсив для латиницы в русскоязычных статьях, для сокращенных наименований физических величин после их численного значения, а также для полных или сокращенных слов «таблица», «рисунок», «приложение», «теорема», «лемма», «пример» и так далее, если после этих слов применена нумерация. При этом полное или сокращенное слово «Рисунок», «Таблица» и т. д. пишется с заглавной буквы. Между точкой после сокращения и цифрой, означающей нумерацию рисунка или таблицы, пожалуйста, используйте символ «неразрывный пробел», который вставляется в текст при одновременном нажатии клавиш *Shift*, *Ctrl* и «пробел». Например, «на Рис. 2 показано».

Для чисел использовать курсив не следует.

Например,  $F_2 = 33,5 \text{ Н}$ .

Не следует использовать наименования физических величин в сокращенном виде в разрыве (вследствие переноса на другую строку) от их численного значения. Чтобы этого избежать, применяйте символ «неразрывный пробел». Также не применяйте эти сокращенные наименования, а также знаки математических операций при отсутствии численного значения.

Например, некорректным по этому признаку является фраза: «Сила тока =  $3 \text{ А}$ », или «Сила тока составляет несколько  $\text{А}$ ». Следует применять корректную запись, например, «Сила тока  $I = 3 \text{ А}$ » или «Сила тока составляет несколько Ампер».

При написании формул используйте соответствующее программное обеспечение *Math (Microsoft Equation)*, встраиваемое в *Word*. Знаки препинания после уравнений, пожалуйста, пишите не в составе формул, а после формул как элементы текста.

В формулах использование курсива и прямого шрифта также имеет больше смысловое значение, а именно: для цифр и русских букв, скобок, других служебных символов курсив не применяется. Курсив следует использовать для латинских букв, за исключением тех случаев, когда латинские буквы применяются для обозначения стандартных функций: *exp*, *sin*, *cos*, *log*, *Ig*, *ln*, *mod*, *max*, *min* и так далее – пишутся без курсива.

Мы просим авторов не использовать без необходимости *Math (Microsoft Equation)* для написания простейших формул в тексте абзаца, например, указание на значение какой-то из величин, или приведение простого соотношения, которое укладывается в половину строки и на которое не делается ссылок в дальнейшем.

Статьи, оформленные с существенными нарушениями требований к оформлению, могут быть отклонены от опубликования на этом основании.

### ОФОРМЛЕНИЕ ЛИТЕРАТУРЫ

Мы просим наших авторов при оформлении списка цитируемых публикаций давать два варианта: для русскоязычных читателей (Литература) и для англоязычных читателей (*References*). Во втором случае публикации на иностранных языках записываются так же, как они пишутся в оригинале. Публикации на русском языке следует перевести на английский язык, либо осуществить транслитерацию с помощью сайта <https://translate.google.ru> или <http://translit.net/>. Если вы ссылаетесь на публикацию нашего журнала, пожалуйста, используйте англоязычное название в списке для англоязычных читателей, а именно: *Automatics & Software Enginery*. Аналогично если журнал выходит на двух языках, русском и английском, мы убедительно просим авторов в русскоязычной версии ссылок давать ссылку на русский вариант издания, а в англоязычной версии – ссылку на английский вариант издания. Если при этом страницы соответствующих статей не совпадают, пожалуйста, используйте правильные страницы публикаций. Если вы знакомы со статьей только по англоязычному варианту, либо если статья написана только на английском или другом иностранном языке, в этом случае ссылка на нее в каждом из перечней дается на языке оригинала.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА ПО ВЕРСИИ IEEE

Предпочтительные ключевые слова предлагается брать из версии IEEE, например, из приведенного ниже списка.

#### Circuits and systems

Circuits  
Active circuits  
Active inductors  
Operational amplifiers  
Analog circuits  
Analog integrated circuits  
Analog processing circuits  
Digital signal processors  
Electronic circuits  
Feedback  
Negative feedback  
Microprocessors  
Automatic logic units

Coprocessors  
Microcontrollers  
**Communications technology**  
Communication equipment  
Optical communication equipment  
Communication system control  
Telecommunication control  
Communication system security  
Computer networks  
Computer network management  
**Computers and information processing**  
Approximate computing  
Computer applications  
Software debugging  
Software design  
**Control systems**  
Automatic control  
Power generation control  
Automatic generation control  
Centralized control  
Closed loop systems  
Control design  
Control engineering  
Control equipment  
Actuators  
Electrostatic actuators  
Intelligent actuators  
Microactuators  
Piezoelectric actuators  
Microcontrollers  
Regulators  
Servosystems  
Servomotors  
Switches  
Microswitches  
Optical switches  
Telecontrol equipment  
Control system synthesis  
Controllability  
Decentralized control  
Distributed parameter systems  
Delay systems  
Added delay  
Delay lines  
Digital control  
Programmable control  
Fault tolerant control  
Feedback  
Feedback circuits  
Output feedback  
Negative feedback  
Neurofeedback  
Linear feedback control systems  
Frequency locked loops  
Phase locked loops  
State feedback  
Tracking loops  
Mechanical variables control  
Displacement control  
Force control  
Level control  
Gyroscopes  
Motion control  
Position control  
Nanopositioning  
Velocity control  
Angular velocity control  
Vibration control  
Medical control systems  
Networked control systems  
Nonlinear control systems  
Open loop systems  
Optical control  
Lighting control  
Optical variables control  
Optimal control  
PD control  
Pi control  
Proportional control  
Robot control  
Robot motion  
SCADA systems  
Sensorless control  
Sliding mode control  
Supervisory control  
Thermal variables control  
Temperature control  
Cooling  
Heating  
Traffic control  
Vehicle routing

## Content

<b>I. Automation. Automated Systems</b>	<b>8</b>
Accelerometer and Gyroscope MPU6050; the First Inclusion on STM32 and the Study of its Indications in Statics V.A. Zhmud, K.A. Kuznetsov, N.O. Kondratyev, V.G. Trubin, M.V. Trubin	9
<b>II. Robotics. Software and Systems. Telemechanics and Telemetry</b>	<b>23</b>
Image Processing Algorithms for High Voltage Power Line Detection Batbayar Battseren, Uranchimeg Tudevdayva, Wolfram Hardt	24
Evaluation of the Intelligibility of Pronunciation of Syllables: Method and Algorithms Novokhrestova D.I., Kostyuchenko E.Yu., Pyatkov A.V.	30
Statistical Analysis of Program Code Metrics E.L. Romanov, L.A. Korshikova	37
<b>III. Innovative Technologies. Promising Technologies. Simulation of Systems. Numerical optimization</b>	<b>47</b>
The History of the Application of Incomplete Integration for the Control of Laser Systems V. Zhmud, L. Dimitrov, J. Nosek	48
<b>IV. Measuring Means and Systems. Identification. Telemechanics and Telemetry</b>	<b>53</b>
Estimation of the Noise Measurement Characteristics in the Model "Signal + Noise" Yu.E. Voskoboinikov, D. A. Krysov	54
The Algorithm for Regularization Frequency Determining by the LSM of Impulse and Frequency Responses Identification G.P. Chikildin, I.V. Maevskiy	62
<b>V. Information Technologies</b>	<b>69</b>
Proposals for the Implementation of the Information System project for Forecasting Staffing Needs and Managing the Competencies of Future Personnel of a Large Enterprise or Corporation A.V. Liapidevskiy, V.A. Zhmud	70
<b>VI. Tools of Theory of Locked Dynamic Systems for Physical and Technical Sciences. Information for Authors</b>	<b>87</b>
Expertise against Corruption V.A. Zhmud	88
Why Galaxies are Twisted V.A. Zhmud	99
Requirements for Publication in Scientific Electronic Journal "Automation and Software Engineering"	106
Content	111



**Chief Editor – Professor Vadim A. Zhmud**, Head of Department of Automation in Novosibirsk State Technical University (NSTU), the Vice-Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS). **Novosibirsk, Russia** E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

**Editorial Council:**

- Vadim A. Zhmud** Chief Editor, Head of Department of Automation in Novosibirsk State Technical University (NSTU), the Vice-Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS). **Novosibirsk, Russia**
- Galina A. Frantsuzova** Deputy Editor-in-Chief, Deputy Chairman of the Editorial Board, Professor of the Automation Department of the Novosibirsk State Technical University (NSTU), **Novosibirsk, Russia**
- Alexander V. Liapidevskiy** Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS), Ph.D., **Novosibirsk, Russia**
- Uranchimeg Tudevtagva** Professor of Mongolian State University of Science and Technology Honorable Doctor of NSTU. Ulaan Baator, **Mongolia**
- Lubomir V. Dimitrov** Vice-Rector of Technical University of Sofia, Doctor, Honorable Doctor of NSTU, Professor, Sofia, **Bulgaria**
- Aleksey V. Taichenachev** Director of Institute of Laser Physics SB RAS, Doctor of Phys. and Mathemat. Sci., Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Higher Attestation Commission, **Novosibirsk, Russia**
- Eric Halbach** D.Sc. (Tech.), Tampere University of Technology, Laboratory of Automation and Hydraulics, P.O. Box 589, 33101 **Tampere, Finland**

**Editing Board:**

- Anatoly S. Vostrikov** Professor, Department of Automation in NSTU, Doctor of Technical Science, Distinguished Lecturer of Russia, Academician of Academician of the International Academy of Higher Education, Novosibirsk and Moscow, **Russia**
- Nikolay D. Polyakhov** Professor, Doctor of Technical Sciences, Saint-Petersburg Electrotechnical University (ETU LETI), member of Editing Board of Journal “Electricity” (Elektrichestvo – in Russian), member of expert consil of Higher Attestation Consil RF. Saint-Petersburg, **Russia**.
- Eugeny B. Tsoy** Vice-Rector on International collaborations NSTU, Professor, Doctor of Sciences. Novosibirsk, **Russia**
- Vladimir I. Guzhov** Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Data Acquisition Systems in Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, **Russia**
- Shiva S. Mahapatra** Professor in the Department of Mechanical Engineering, NIT Rourkela, **India**

- Hubert Roth** Head of the Department of Automatic Control Engineering of University of Siegen, Professor, **Germany**
- You Bo** Director of Institute of Robotics and Automation Technology, Dean of School of Automation, Professor, Harbin University of Science and Technology, **China**
- Jaroslav Nosek** Professor in Technical University of Liberec, Director of Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Honorable Doctor of NSTU. Liberec, **Czech Republic**
- Petr Tůma** Professor at the Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Education Technical University of Lyuberecs, Doctor, **Czech Republic**
- Thierry Chateau** Full Professor, Université Blaise Pascal, Head of ISPR/ComSee Team, Clermont Ferrand, **France**.
- Wolfram Hardt** Vice-Dean on International Affairs, Director of University Computer Center, Professor on Technical Informatics, Technical University of Chemnitz, **Germany**
- Vimal J. Savsani** Associate Professor at B. H. Gardi college of engineering and technology, Surat, **India**
- Ravipudi Venkata Rao** B. Tech., M. Tech., Ph.D., D.Sc. (**Poland**). Professor, Department of Mechanical Engineering, Former Dean (Academics) and Head (Mech. Engg. Dept.) Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SV NIT) {An Institute of National Importance of Government of India} Ichchanath, Surat-395 007, Gujarat State, **India**.
- Nematzhon R. Rakhimov** Head of the Laboratory of Optoelectronic Sibirean State Geophysics Academy, Professor, Doctor of Technical Science, **Russia and Uzbekistan**
- Gennady P. Tsapko** Professor of the Department of Automation and Computer Systems of the National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Director of Research and Education Center of CALS-technologies, Professor, Doctor of Technical Sciences, Academician of the International Academy of Informatization, Tomsk, **Russia**
- Alexander M. Malishenko** Professor of the Automation and Robotics Department of the Engineering School of Information Technologies and Robotics of TPU, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Institute of Higher School of Economics and the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, Tomsk, **Russia**
- Vadim Ya. Kopp** Head of the Department of Automated Instrument Systems in Sevastopol National Technical University, Honored Worker of Science and Technology, Professor, Sevastopol, **Russia** and **Ukraine**

- Alexander A. Voevoda** Professor, Department of Automation in NSTU, Doctor of Technical Science, Academician of International Academy of Sciences of Higher Education, Novosibirsk, **Russia**
- Eugeny V. Rabinovich** Professor, Department of Computer Science, NSTU, Doctor of Technical Science, Professor, Novosibirsk, **Russia**
- Michail G. Grif** Head of the Department of Automated Control Systems, NSTU, Doctor of Technical Science Professor, Novosibirsk, **Russia**
- Boris B. Borisov** Head of the Laboratory of the Institute of Laser Physics SB RAS (ILP SB RAS), Doctor of Technical Science, Novosibirsk, **Russia**
- Sergey L. Minkov** Head of the department of information support innovation Researching National University “Tomsk State University”, PhD, Physical and Mathematical Sciences, major researcher, Corresponding Member of International Academy of Informatization, Tomsk, **Russia**
- Boris V. Poller** Head of the Laboratory of the Institute of Laser Physics SB RAS (ILP SB RAS), Doctor of Technical Science, Novosibirsk, **Russia**
- Tatiana V. Avdeenko** Head of the Department of Economic Informatics NSTU, Professor, Doctor of Technical Science, Novosibirsk, **Russia**
- Bayardin Bat-Erdene** Deputy Director of Research and Innovation Energy Institute in Mongolian State University of Science and Technology, Ph.D. ass. Professor. Ulaan Baator, **Mongolia**
- Anatoly M. Korikov** Head of the Department of Control Systems and Radio Electronics in Tomsk University of Systems of Control and Radioelectronics (TUSUR). Professor, Doctor of Technical Science, Academician of International Academy of Sciences of Higher Education, expert in system analysis and automatics. Tomsk, **Russia**
- Vitaly S. Shcherbakov** Dean of the Faculty, “Oil and gas and construction equipment”, Head of Department “Automation of production processes and Electrical Engineering”, Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI), Omsk, **Russia**
- Aleksey A. Ruppel** PhD, Technical Science, Associate Professor, Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI), Omsk, **Russia**
- Senge S. Yampilov** Professor of Department “Biomedical Engineering: Processes and Equipment for Food Production”, Doctor of Technical Sciences, Ulan-Ude, **Russia**
- Vladimir I. Gololobov** Head of Laboratory in NIPS, PhD, Novosibirsk, **Russia**
- Konstantin V. Zmeu** Associate Professor, PhD., Head of the Department of Technology of Industrial Production, the Engineering School of the Far Eastern Federal University, Vladivostok, **Russia**

- Oleg V. Stukach** Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department in National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk, **Russia**
- Aleksey D. Pripadchev** Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Flying Apparatus of Orenburg State University, Aero-Space Institute, Orenburg, **Russia**
- Victor P. Melchinov** PhD., Assistant Professor, Head of the Department of Radiotechniques and Information Technologies of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**
- Vyacheslav N. Fyodorov** PhD., Assistant Professor, Department of Radiotechniques and Information Technologies of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**
- Ulyana A. Mikhalyova** PhD., Assistant Professor, Head of the Department “Multi-Channel Telecommunication Systems” of Technology Institute of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**
- Anastasiya Stotskaya** PhD., Assistant Professor, Deputy Head of Automatic control system department, Saint-Petersburg Electrotechnical University (ETU LETI), Saint-Petersburg, **Russia**
- Anastasiya Rusina** Professor of the Department of Automated Electrical and Power Systems of NSRU, Doctor of Technical Sciences, Novosibirsk, **Russia**
- Michail V. Kalinin** Content manager, NIPS, Novosibirsk, **Russia**



ISSN 2312-4997 for paper version  
ISSN 2618-7558 for electronic pdf-version