

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

СЕМЬДЕСЯТ ВТОРАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов  
15–19 апреля 2019 г.



УДК 001  
ББК 72  
С30

С30 Семьдесят вторая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб.  
докл. В 4 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2019. 317 с.  
ISBN 978-5-8088-1391-5 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-8088-1390-8

Представлены доклады Семьдесят второй международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2019 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэрокосмического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радиотехники, электроники и связи, современным проблемам экономики, философии и права.

Под общей редакцией  
доктора технических наук, профессора  
*В. Ф. Шишлакова*

Редакционная коллегия:

*А. Р. Бестугин*, доктор технических наук, профессор

*В. М. Боер*, доктор юридических наук, профессор

*А. С. Будагов*, доктор экономических наук, доцент

*К. В. Лосев*, доктор экономических наук, доцент

*Н. Н. Майоров*, кандидат технических наук, доцент

*И. А. Павлов*, кандидат военных наук, доцент

*Е. Г. Семенова*, доктор технических наук, профессор

*М. Б. Сергеев*, доктор технических наук, профессор

*А. М. Тюрликов*, доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь редакционной коллегии *Л. И. Корнеева*

ISBN 978-5-8088-1391-5 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-8088-1390-8

© Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического  
приборостроения, 2019

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

## Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы

УДК 629.7.05

**А. С. Аверченков**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Ю. Чернов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЮЩЕГО ДВИГАТЕЛЯ МАХОВИКА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Управляющий двигатель-маховик<sup>[1]</sup> (УДМ) входит в систему управления движением (СУД) космического аппарата (КА) и предназначен для создания управляющих моментов, воздействующих на КА в режимах стабилизации и программных поворотов посредством электродинамического момента.

Типовая структурная схема УДМ, независимо от варианта исполнения, представлена на рис. 1.

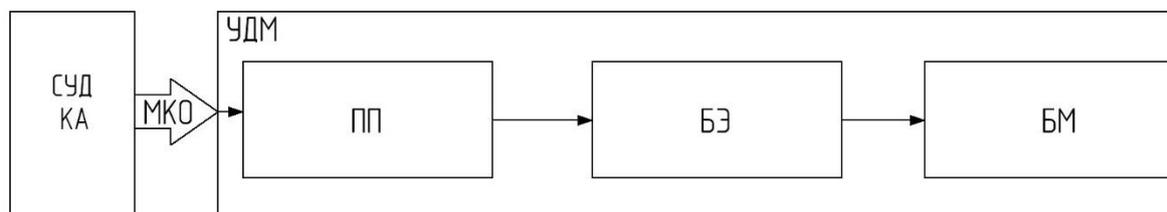


Рис. 1. Типовая структурная схема УДМ: СУД КА – система управления движением космического аппарата; МКО – мультиплексный канал обмена; ПП – приемо-передатчик; БЭ – блок электроники; БМ – блок механики

При разработке УДМ одним из главных этапов является выбор метода реализации управления, от этого в будущем будут зависеть примененные в изделие схемотехнические решения, которые определяют массогабаритные характеристики, погрешности, ресурс, надежность и т.д.

Рассмотрим следующие методы управления УДМ: по управляющему моменту ( $M_y$ ) и по скорости вращения ротора ( $\omega$ ).

Структурная схема УДМ с методом управления по  $M_y$  представлена на рис. 2. Обратная связь по току двигателя ( $I_d$ ) предназначена для сравнения токов вырабатываемого двигателем и эталонным: пока они не сравняются регулятор тока будет повышать/понижать значение  $I_d$ .

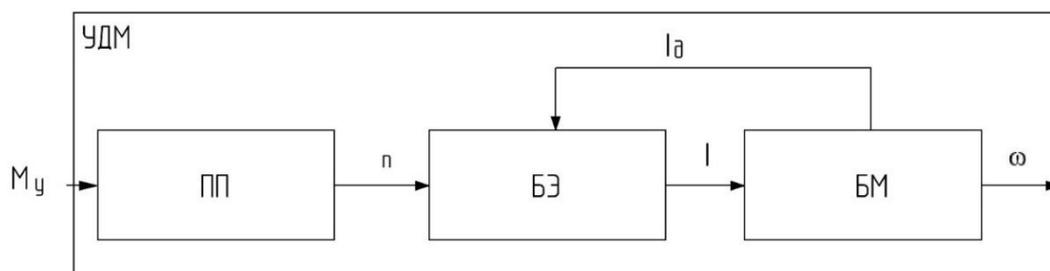


Рис. 2. Структурная схема УДМ с методом управления по  $M_y$ :  
 $M_y$  – момент управления;  $n$  – число импульсов;  $I$  – ток;  
 $\omega$  – скорость вращения ротора;  $I_d$  – ток двигателя.

Недостатком данного метода является рост погрешности  $M_y^{[2]}$ , особенно при пониженной температуре, из-за увеличения момента сопротивления. Для компенсации этой погрешности нужно реализовать обратную связь по скорости, как показано на рис. 3.

Обратная связь по скорости (рис. 3, а), в данном случае, будет носить запаздывающий характер, также каждое компенсирование  $M_y$  – это переходный процесс, сопровождающийся «выбросом», что приводит к появлению недопустимо большой постоянной погрешности.

На рис. 3, б представлена структурная схема, где обратная связь по скорости реализована следующим образом: вычислительный блок (ВБ) формирует опорную скорость вращения ( $\omega_0$ ), из которой вычитается текущая ( $\omega$ ); разность этих скоростей преобразуется через соответствующие коэффициенты ( $\Delta M_y$ ) и вычитается из  $M_y$ , тем самым компенсируя текущий момент сопротивления. Данный метод является сложным с точки зрения построения работоспособных алгоритмов, целесообразность его использования должна быть проверена при моделировании, различных технических анализах и испытаниях.

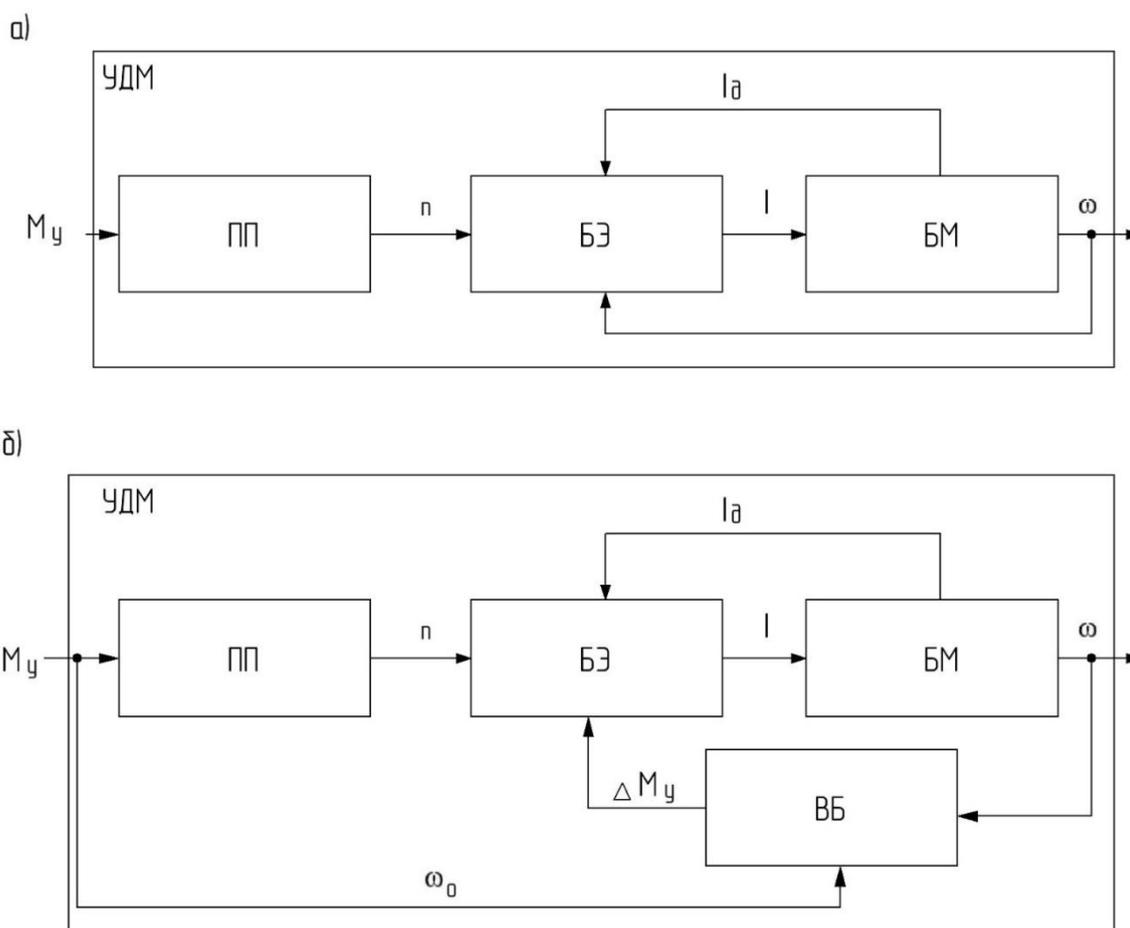


Рис. 3. Структурная схема УДМ: а) с обратной связью по скорости; б) с обратной связью по скорости и расчетом опорной скорости

Структурная схема УДМ с методом управления по скорости представлена на рис. 4.

Данный метод обычно не используется (если к КА нет дополнительных специальных требований) из-за увеличения алгоритмической части как изделия, так и СУД КА, которая должна подавать на УДМ значения требуемой скорости и момента управления.

Исходя из выше сказанного следует вывод, что выбор метода управления является очень важной и сложной задачей для разработчика. Любое выбранное решение требует тщательного изучения путем анализа, моделирования и макетирования для оценки с точки зрения оптимальности, функциональности и метрологии. Существенные ограничения также вносят требования головной организации к разрабатываемому УДМ, тип КА, в состав которого он войдет и т.д., поэтому чаще всего

используются «традиционные» для той или иной организации-разработчика методы, которые постепенно модернизируются с учетом накопленного эксплуатационного опыта и замены элементной базы на более современную.

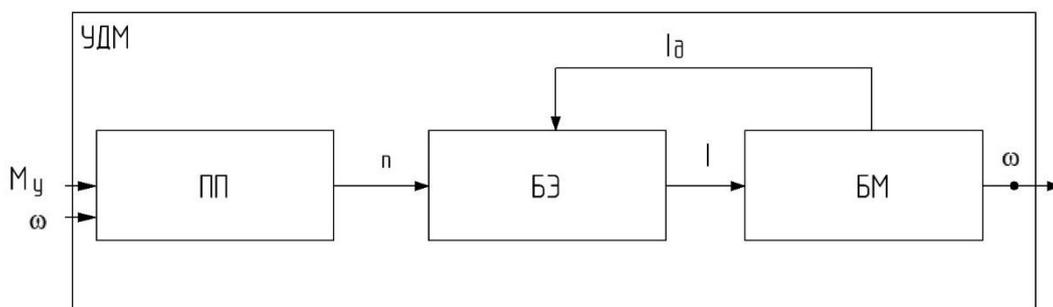


Рис. 4. Структурная схема УДМ с методом управления по скорости вращения ротора

### Библиографический список

1. Алексеев К. Б., Бебенин Г. Г. Управление космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1974. 340 с.
2. Сайдов П. И., Слив Э. И., Чертков Р. И. Вопросы прикладной теории гироскопов. Л.: СУДПРОМ ГИЗ, 1961. 426 с.

УДК 629.7.05

**А. А. Аристов, М. А. Епринцев**

магистранты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для управления ориентацией малого космического аппарата применяются, в том числе, маховиковые двигатели. Они позволяют изменять угловую скорость спутника, используя электрическую энергию. Однако длительность выполнения манёвра больше в сравнении с реактивными двигателями, также при больших значениях угловой скорости необходимо проводить разгрузку маховика.

Целью данной работы является математическое описание движения маховика, определение параметров макета для проведения исследований в области относительной ориентации и навигации МКА.

Движение спутника осуществляется за счёт закона сохранения импульса.

$$\omega_c * I_c + \omega_m * I_m = const, \quad (1)$$

где  $\omega_c$  и  $\omega_m$  – угловые скорости спутника и маховика соответственно,  $I_c$  и  $I_m$  – моменты инерции спутника и маховика соответственно.

Маховик представляет собой сплошной диск из плотного материала. Модель спутника имеет формат subesat, центр массы спутника практически совпадает с геометрическим центром. Маховик расположен параллельно нижней грани.

Выражения моментов инерции для сплошного диска и куба известны. Прием, что начальная угловая скорость маховика  $\omega_{m0} = 0$ , что позволяет задать макету вращение с одинаковой максимальной угловой скоростью в обоих направлениях. В этом случае оценить угловую скорость макета можно по формуле:

$$\omega_c = -\omega_m * \frac{3 * m_m * r_m^2}{(m_c - m_m) * a^2}, \quad (2)$$

где  $\omega_c$  и  $\omega_m$  – угловые скорости спутника и маховика соответственно,  $m_c$  и  $m_m$  – массы спутника и маховика соответственно,  $r_m$  – радиус маховика,  $a$  – сторона макета.

Таким образом, угловые скорости маховика и спутника противоположно направлены, прямо пропорциональны.

Из основного уравнения динамики следует, что изменение угловой скорости зависит от момента действующей силы:

$$I_m * \frac{d\omega_m}{dt} = M, \quad (3)$$

где  $M$  – момент силы, создаваемый электродвигателем.

Максимальный момент силы электродвигателя при ограниченном токе статора практически не изменяется при вращении ротора со скоростью, меньшей номинальной угловой скорости этого двигателя  $\omega_n$ . После превышения номинальной угловой скорости данный момент резко уменьшается по закону, зависящему от конкретного двигателя [1]. Для упрощения вычислений предлагается принять, что для нашего случая подходит экспоненциальный закон.

Ниже представлен расчет необходимого для изменения угловой скорости вращения маховика времени, рассмотренный на двух участках:

1)  $\omega \in [0; \omega_H]$ . Проинтегрировав уравнение (3) и приняв, что  $M = const$ , получим:

$$t = \frac{I_m}{M} \int_{\omega_0}^{\omega_1} d\omega = \frac{I_m * (\omega_1 - \omega_0)}{M}, \quad (4)$$

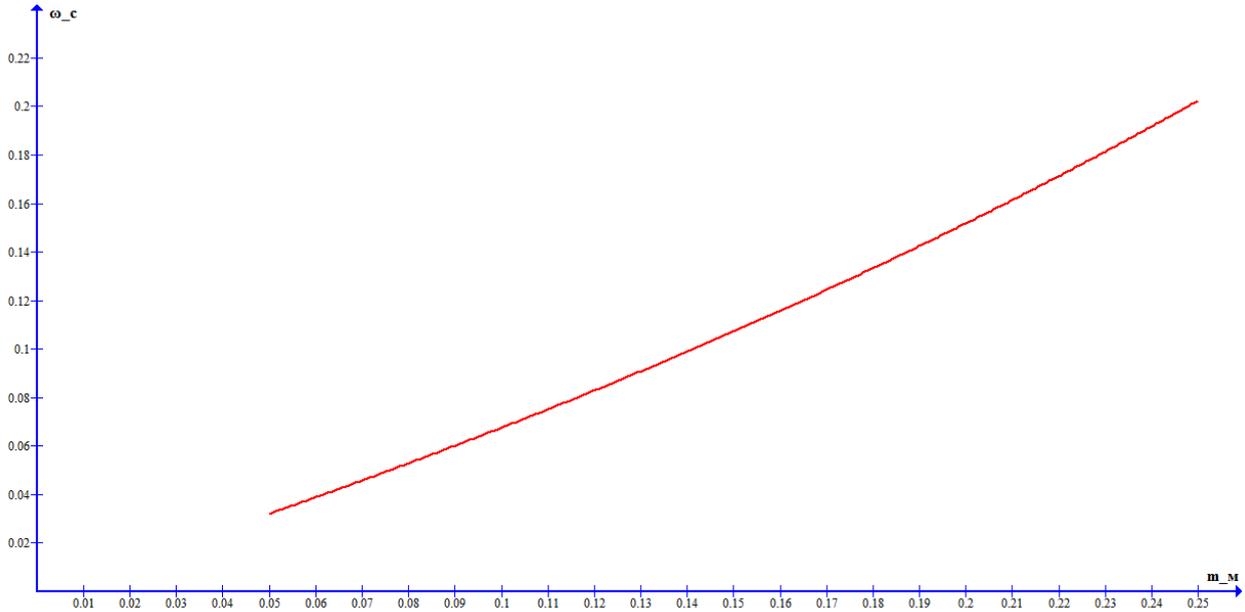
2)  $\omega \in (\omega_2; \infty)$ . Примем, что зависимость действующего момента силы можно представить следующим образом:

$M(\omega) = \beta * e^{-\alpha\omega}$ , где  $\alpha, \beta$  – коэффициенты. Оценим время изменения скорости:

$$t = I_M \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{1}{\beta * e^{-\alpha\omega}} d\omega = \frac{I_M * (e^{\alpha\omega_1} - e^{\alpha\omega_0})}{\beta * \alpha}, \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что необходимое для изменения угловой скорости маховика время зависит от начального и конечного значений угловой скорости.

Параметры макета были выбраны на основе уравнений (2), (4).  $m_c = 1$  кг,  $r_M = 0.045$  м,  $a = 0.1$  м, предполагаемое значение  $\omega_n \geq 1$  об/сек. Масса маховика  $m_M$  может принимать значения из диапазона [0.05 кг; 0.25 кг].



Зависимость угловой скорости макета от массы маховика.

На графике ось  $m_M$  соответствует массе маховика, ось  $\omega_c$  – угловой скорости макета. На основе этих данных выбирается минимальная масса маховика, позволяющая обеспечить необходимую угловую скорость макета.

Определим связанную с макетом систему координат. Рассмотрим движение макета спутника относительно центра масс. Примем, что элементы главной диагонали тензора инерции равны моментам инерции модели относительно главных осей, недиагональные элементы примерно равны 0, центр масс совпадает с геометрическим центром макета. Теорема об изменении кинетического момента относительно неподвижного полюса имеет вид:

$$\begin{cases} I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y) \omega_z \omega_y = M_x \\ I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z) \omega_x \omega_z = M_y, \\ I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x) \omega_y \omega_x = M_z \end{cases} \quad (6)$$

где  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – угловые скорости относительно главных осей,  $I_x, I_y, I_z$  – моменты инерции относительно главных осей,  $M_x, M_y, M_z$  – моменты силы, действующие относительно главных осей.

$M_x, M_y, M_z$  равны разности между моментами двигателей и моментами сил трения относительно соответствующих осей. Если моменты  $M_x, M_y, M_z$  равны 0, угловые скорости не изменяются, то наблюдается стационарное вращение [2]. Из уравнения (6) следует возможность 3 вариантов:

1)  $I_x \neq I_y \neq I_z$ , тогда  $\omega_x * \omega_y = 0$ , либо  $\omega_y * \omega_z = 0$ , либо  $\omega_x * \omega_z = 0$ . Таким образом, стационарное вращение возможно лишь вокруг одной из главных осей.

2)  $I_x = I_y \neq I_z$ , тогда либо  $\omega_z = 0$ , либо  $\omega_x = \omega_y = 0$ . Таким образом, стационарное вращение возможно относительно оси динамической симметрии либо относительно любой из осей, перпендикулярных оси динамической симметрии.

3)  $I_x = I_y = I_z$ , тогда стационарное вращение возможно относительно любой из осей, проходящих через центр масс.

Упрощённая математическая модель маховикового двигателя описывается уравнениями [3]:

$$I_k \cdot \omega_k = K \cdot i_k, \quad (7)$$

$$T \frac{di_k}{dt} + i_k = K' \sigma_k, \quad (8)$$

где  $i_k$  – сила поступающего на обмотку к-го двигателя тока,  $\omega_k$  – угловая скорость к-го маховика,  $I_k$  – момент инерции к-го маховика,  $K$  и  $K'$  – коэффициенты,  $T$  – постоянная времени блока управления,  $\sigma_k$  – управляющий сигнал.

Данная модель действительна при условии  $\omega_k \in [0; \omega_H]$ . Примем, что управляющий сигнал

имеет вид  $\sigma_k = I_k \cdot \left[ \dot{\omega}_k \right]_{np}$ , где  $\left[ \dot{\omega}_k \right]_{np}$  – программно задаваемое значение. Также примем, что  $K' =$

$1/K$ . Тогда уравнение (8) можно преобразовать к следующему виду:

$$T \ddot{\omega}_k + \dot{\omega}_k = \left[ \dot{\omega}_k \right]_{np}, \quad (9)$$

Если  $\ddot{\omega}_k \approx 0$ , то есть в случае медленного изменения углового ускорения, получим следующее выражение:  $\dot{\omega}_k = \left[ \dot{\omega}_k \right]_{np}$ .

Причины, приводящие к появлению ошибки измерения угловой скорости:

1) Погрешность измерения  $i_k$ ;

2) При изменении угловой скорости  $\omega_k \neq 0$ ;

3) Ошибка при задании значения  $\left[ \dot{\omega}_k \right]_{np}$ ;

4) Влияние внешнего момента, создаваемого силами трения;

5) Отклонение центра масс от геометрического центра макета.

В данной работе представлено математическое описание двигателя-маховика, применяемого для управления малым космическим аппаратом. На основе представленных данных планируется создать макет, имитирующий спутник формата cubesat. Данный макет позволит проводить исследования в области взаимной ориентации и навигации малых космических аппаратов в группе.

### Библиографический список

1. Электродвигатели. URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor> (дата обращения: 15.03.2019).

2. Черноусько Ф. Л., Акуленко Л. Д., Лещенко Д. Д. Эволюция движений твердого тела относительно центра масс. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2015. 52 с.

3. Игнатов А. И. Исследование режимов вращательного движения искусственного спутника Земли для проведения экспериментов в области микрогравитации. М.: ФГУП «Государственный космический научно-производственный центр им. М. В. Хруничева», 2012. 37 с.

УДК 621.86.062

**А. А. Аристов, М. А. Епринцев**

магистранты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА СТЕНДА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ И ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ МАХОВИКОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для проведения более точного эксперимента с маховиковым двигателем с небольшой инерционной массой необходимо максимально исключить влияние внешних сил, противодействующий создаваемому вращающему моменту. В случае использования механических креплений основное влияние будет оказывать сила трения составных элементов. Для того чтобы исключить его влияние, предлагается проводить эксперимент с испытуемым телом, находящимся в электромагнитном подвесе – приборе, создающем эффект электромагнитной невесомости.

Однако для магнита достаточной мощности необходимо рассчитать его параметры: выбрать диаметр сечения провода соленоида, а так же количество витков.

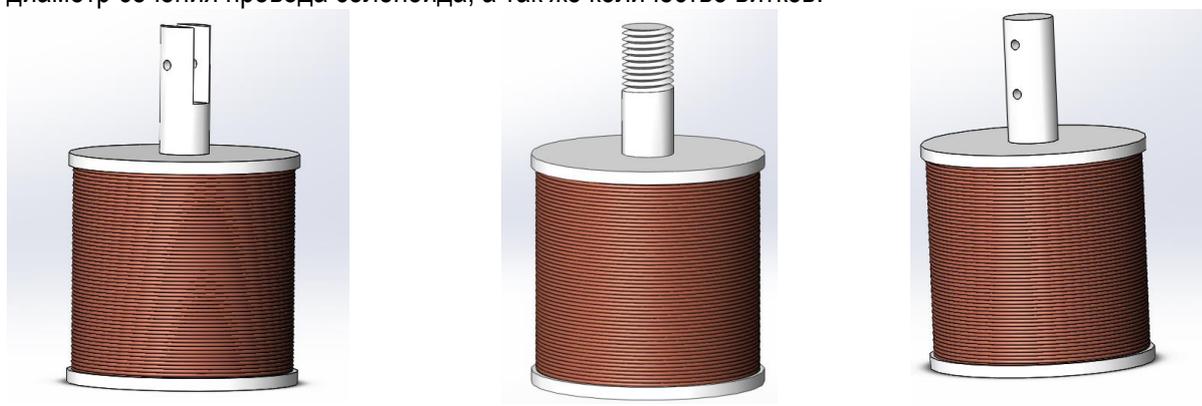


Рис. 1. Предполагаемые варианты электромагнита

Отдельно стоит отметить, что металлический сердечник не предусмотрен конструкцией магнита. Связано это с тем, что в дальнейшем для увеличения максимальной массы экспериментального тела в его конструкцию будет внедрен сильный неодимовый магнит. Сила взаимодействия магнитного подвеса с постоянным магнитом больше, чем сила, с которой электромагнит с металлическим сердечником будет взаимодействовать с металлическим макетом спутника с маховиковым двигателем. Однако это конструктивное решение налагает определенные ограничения: электродвигатель маховика должен находиться как можно дальше от постоянного магнита.

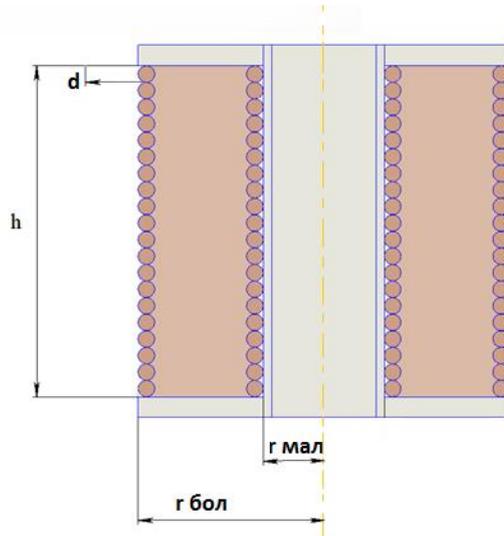


Рис. 2. Упрощенная схема электромагнита

На рис. 2. представлена упрощенная схема электромагнита, отображающая основные расчетные параметры для электромагнита: диаметр провода  $d$ ; высота магнита  $h$ ; внешний и внутренний радиусы катушки  $r_{\text{бол}}$  и  $r_{\text{мал}}$ . Все за исключением диаметра  $d$  можно свести к вычислениям числа витков в катушке. Общая схема макета спутника и электромагнита представлена на рис. 3.

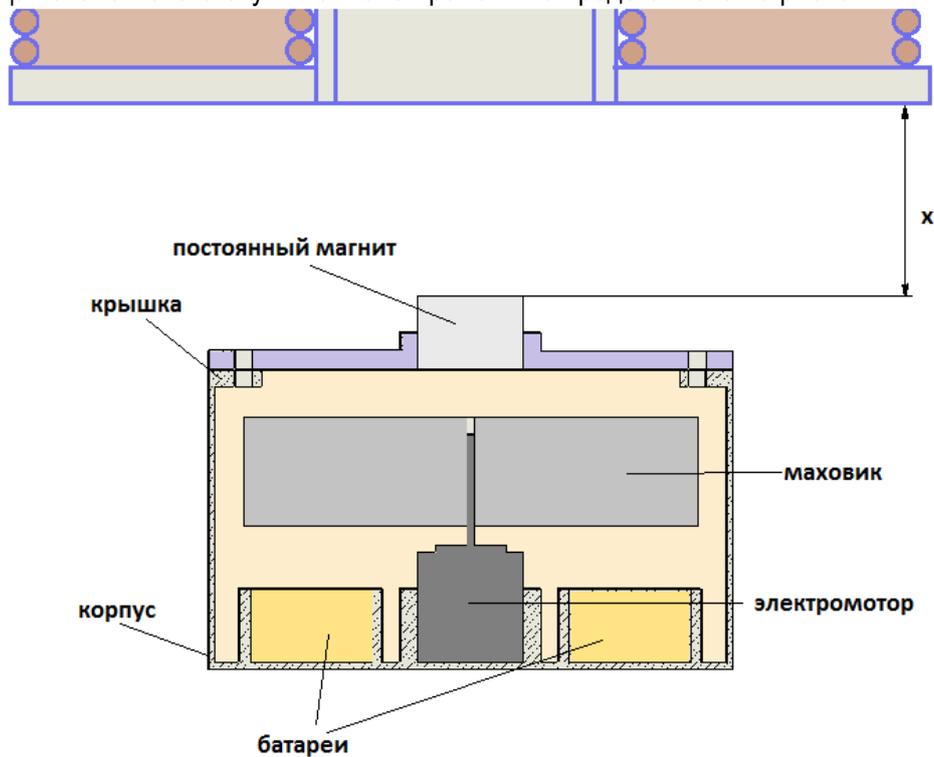


Рис. 3. Схема электромагнитного подвеса и макета спутника

Как известно, силу, создаваемую электромагнитом можно найти по формуле 1

$$F = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot I^2 \cdot \frac{dG_M}{dx} \cdot i \quad (1)$$

где  $F$  – вектор электромагнитной силы;  $\omega$  – число витков обмотки электромагнита,  $I$  – ток в обмотке,  $G_M$  – проводимость магнитопровода для потока, созданного током  $I$ ;  $x$  – координата положения испытуемого объекта;  $i$  – орт по оси  $Ox$ .

Особую сложность в расчеты вносит проводимость магнитопровода, так как она зависит от таких факторов, как:

- Температура
- Проницаемость материала магнитопровода и окружающей его среды
- Величина зазора между витками катушки
- Форма магнитопровода и полюсного наконечника (сердечника)
- Потери энергии в магнитопроводе
- Расположения обмоток друг относительно друга
- Расстояние между магнитом и ИС

Существует несколько методов расчета проводимости магнитопровода, однако при решении данной конкретной задачи лучшим является метод вероятных путей потока (метод Ротерса). Данный метод подразумевает разбиение объема пространства воздушного зазора на простые геометрические тела, ограниченные плоскостями, цилиндрическими, либо сферическими поверхностями. Подробное рассмотрение данного метода не является целью настоящей статьи, поэтому здесь представлены только окончательные выводы:

$$\frac{dG_x}{dx} \cong \frac{d}{dx} \left( \mu_0 \cdot \frac{S}{x} \right) = -\mu_0 \frac{S}{x^2}, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь сечения электромагнита в горизонтальной плоскости в метрах квадратных.

Стоит отметить, что в данной формуле не учитывается влияние сердечника на проводимость магнитопровода, так как он не предусматривается конструкцией разрабатываемого электромагнита.

Подставив полученное выражение (2) в формулу (1), получим выражение для силы, создаваемой электромагнитом.

$$F = -\frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot I^2 \cdot \mu_0 \frac{S}{x^2} \cdot i. \quad (3)$$

В решаемой задаче нам необходимо обеспечить эффект электромагнитной левитации. Иными словами, сила, создаваемая закрепленным в вертикальном положении электромагнитом, согласно 3-му закону Ньютона должна быть равна силе тяжести, которая действует на испытуемое тело. Так как силы действуют по одной оси, можно уйти от векторной формы записи сил.

$$m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot I^2 \cdot \mu_0 \frac{S}{x^2}. \quad (4)$$

В формулу стоит внести корректировки, связанные с площадью электромагнита, с учетом выбранной конструкции:

$$S = S_6 - S_M = \pi \cdot \frac{r_6^2}{2} - \pi \cdot \frac{r_M^2}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot (r_6^2 - r_M^2), \quad (5)$$

где  $S_6$  – площадь внешней окружности сечения электромагнита;  $S_M$  – площадь внутренней окружности сечения электромагнита;  $r_6$  – радиус внешней окружности сечения электромагнита;  $r_M$  – радиус внутренней окружности сечения электромагнита;

Очевидно, что результат деления разности радиусов  $r_6$  и  $r_M$  на диаметр выбранного провода должен быть целочисленным. Аналогичная зависимость должна быть между диаметром провода и высотой электромагнита  $h$ .

При учете (5) формула (4) приобретает вид (6):

$$m \cdot g = \frac{1}{4} \cdot \omega^2 \cdot I^2 \cdot \mu_0 \frac{\pi \cdot (r_6^2 - r_M^2)}{x^2}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что количество витков катушки электромагнита равно (7):

$$\omega = \frac{2 \cdot x}{I} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{\mu_0 \cdot \pi \cdot (r_6^2 - r_M^2)}}. \quad (7)$$

При заданных радиусах внутренней и внешней окружностей высота электромагнита  $h$  равна (8):

$$h = \frac{\omega \cdot d}{r_6 - r_M}. \quad (8)$$

Таблица

Сечение d, мм	Предельный ток, А (формула [9])	Число витков (формула [7])	Высота электромагнита, мм (формула [8])
0,1	0,016	510607	584
0,2	0,0625	127651	292
0,3	0,14	56734	195
0,4	0,25	31912	146
0,5	0,39	20424	117
0,6	0,56	14183	98
0,7	0,77	10420	84
0,8	1	7978	73
0,9	1,27	6303	65
1	1,56	5106	59

В таблице приведены расчеты для некоторых сечений провода. Максимальная масса экспериментального тела равна 0,5 кг, расстояние  $x$  равно 30 мм, больший радиус катушки 100 мм, меньший радиусу в 12,5 мм. Предельный допустимый ток в катушке рассчитывался по формуле [9]:

$$I = \frac{d^2}{0,64}. \quad (9)$$

#### Библиографический список

1. Анцев Г. В., Богословский С. В., Сапожников Г. А. Проектирование устройств с электромагнитным подвесом. М.: Наука, 2010.
2. Сапожников Г. А., Богословский С. В. Теория и практика измерительных электромагнитных подвесов, 2001.
3. Грицук А. А. Основы теории электрических аппаратов. Екатеринбург, 2008.

УДК 629.7.054

**М. А. Артамонова**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Г. Никитин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

С развитием микроэлектроники начали создаваться миниатюрные конструкции на одном кристалле, объединяющим чувствительные элементы преобразующие и электронные компоненты, которые принято называть микроэлектромеханическими системами (МЭМС) [1].

Акселерометры состоят из инерционной массы, которая с помощью упругих элементов подвеса смонтирована в корпусе. Реализация выходного сигнала и принципа измерения обеспечивается преобразователями перемещений, деформаций, сил и электроникой. Конструктивный узел, включающий в себя ИМ и подвес с элементами крепления можно определить, как Чувствительный элемент акселерометра. Основные характеристики: чувствительность, диапазон измерения, полоса пропускания частот, масштабный коэффициент, точность, быстродействие и др. Схема измерительной цепи осевого МА прямого преобразования представлена на рис. 1, где:  $m$  – ЧЭ (инерциальная масса),  $F$  – сила, возникающая под действием ускорения;  $W_y$  – передаточная функция ЧЭ;  $W_n$  – передаточная функция преобразователя перемещений;  $K_y$  – коэффициент усиления;  $W_\phi$  – передаточная функция фильтра второго порядка.

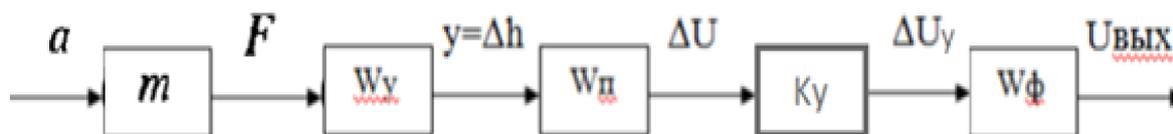


Рис. 1. Схема измерительной цепи МА

Одной из основных причин, вызывающих погрешность измерений микромеханического акселерометра, является изменение температуры окружающей среды. Дополнительное смещение нуля из-за вариации температуры окружающей среды:

$$\Delta W_T = K_T \cdot T \cdot t, \quad (1)$$

где  $K_T$  – тепловой дрейф сдвигов нулей акселерометров,  $T$  – скорость изменения температуры;  $t$  – время испытания.

Известно, что точность измерений ограничена не только систематической погрешностью, но и спектральным составом шума измерений [2]. Акселерометры, как и гироскопы, страдают от смещения и дрейфов смещения, ошибок невыравнивания, дрейфов под воздействием температуры и ускорений, нелинейности, а также дрейфа чувствительности. Точность акселерометра зависит от: чувствительности датчиков, динамического диапазона, смещения нуля, масштабного коэффициента и т.д.

Методы повышения точности:

1. Метод калибровки – позволяет повысить точность проводимых измерений, так как МЭМС-датчики имеют разброс параметров при изготовлении до 3%, не смотря на их калибровку при изготовлении.

2. Использование проводов с двойным экраном – основное преимущество двойного экранирования заключается в улучшенной защите сигнала от внешних помех (электромагнитных и других), или наоборот – защите внешней среды от помех, образуемых проходящим по кабелю током. Чаще всего кабели с двойным экранированием применяются в аппаратуре для теле- и радиовещания, в качественных аудио- и видеосистемах [3].

3. Введение в систему корректирующего звена: последовательного типа (дифференцирующее звено, интегрирующее звено), параллельного типа (изодромное устройство), в виде местной обратной связи.

4. Метод параметрической стабилизации – состоит в стабилизации статической характеристики средств измерений [4]. Данный метод уменьшает систематическую и случайную погрешности средств измерений. Он является классическим в приборостроении. На основе этого метода до сих пор строится современный парк средств измерений.

Рассмотрим метод повышения точности с использованием ввода обратной связи в систему.

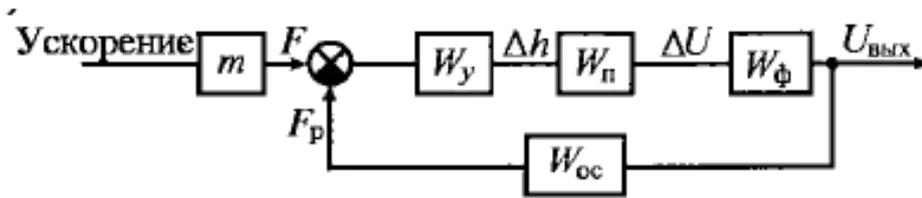


Рис. 2. Схема измерительной цепи МА с обратной связью

Для того чтобы собрать измерительную цепь МЭМС акселерометра мы рассчитали параметры ЧЭ (чувствительного элемента), емкостного преобразователя перемещений, коэффициент демпфирования, операционный усилитель и фильтр низких частот. Моделирование производим в пакете Simulink, схема представлена на рис. 4. ЧЭ представляет собой пластину с внешними размерами  $a_m$ ,  $b_m$ ,  $c_m$ , которая вместе с упругими элементами вытравлена из монокристалла. В пластине выполнены перфорационные отверстия ПО. Исходные данные: Размеры пластины:  $a_m = 9 \cdot 10^{-3}(м)$ ,  $b_m = 10^{-2}(м)$ ,  $c_m = 35 \cdot 10^{-5}(м)$ , поперечное сечение упругой балки:  $b_n = 4 \cdot 10^{-4}(м)$ ,  $c_n = 25 \cdot 10^{-6}(м)$  – толщина упругого подвеса,  $l = 2 \cdot 10^{-3}(м)$  – длина, масса пластины  $m_n = 7.5 \cdot 10^{-5}(кг)$  плотность  $\rho = 2.33(г/см^2)$ ,  $E = 1.68 \cdot 10^{11}(Н/м^2)$ . Схема ЧЭ маятникового МА представлена на рис. 3.

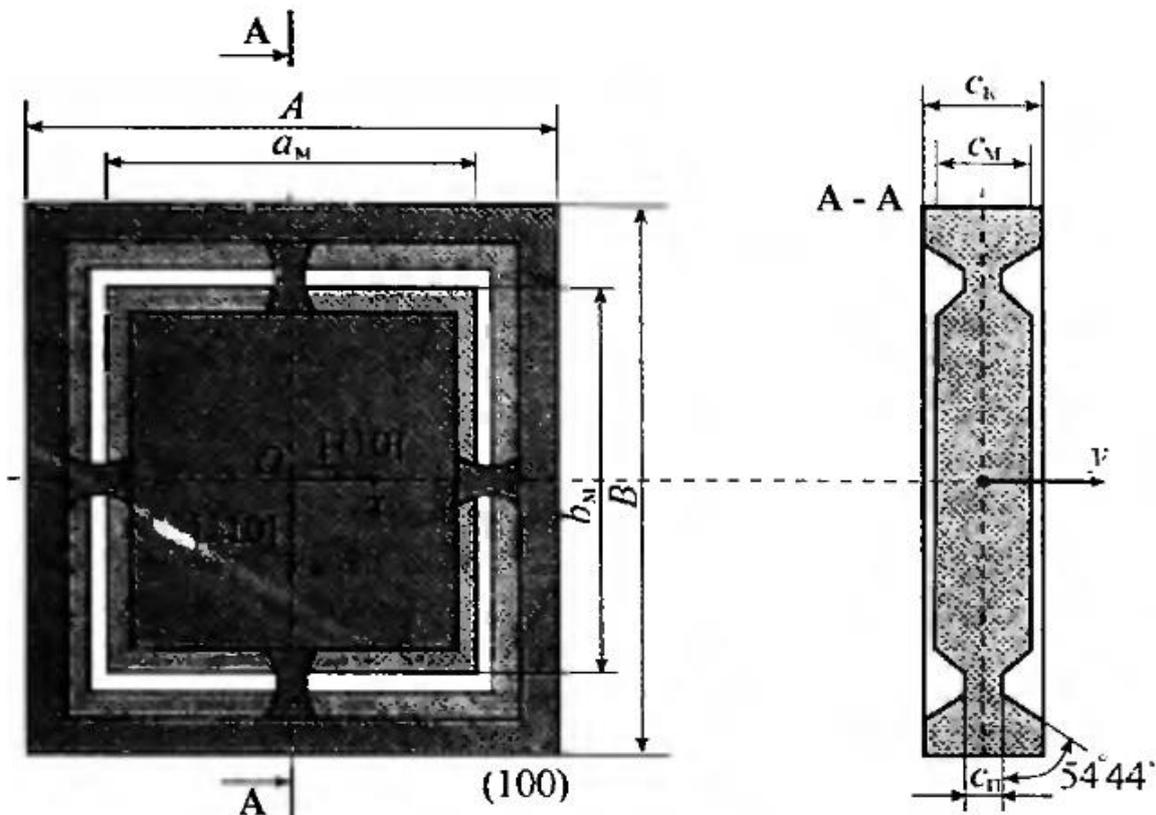


Рис. 3. Схема ЧЭ осевого МА

После проведения всех расчетов получаем передаточную функцию ЧЭ:

$$W_q(s) = \frac{K_q}{T_q^2 s^2 + 2\xi_q T_q s + 1} = \frac{0.0000142884}{0.00037s^2 + 0.06048s + 1}, \quad (2)$$

где  $T_q$  – постоянная времени ЧЭ;  $\xi_q$  – относительный коэффициент демпфирования;

$$W_q(s) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{4.5}{0.75} = 6 \text{ передаточная функция емкостного преобразователя:}$$

$$W_q(s) = \frac{\Delta U}{\Delta h} = 50000, \quad (3)$$

где  $\Delta U$  – напряжение в измерительной диагонали моста,  $\Delta h$  – изменение расстояния между подвижным и неподвижным электродами.

Коэффициент усиления:

$$W_q(s) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{4.5}{0.75} = 6, \quad (4)$$

где  $U_{вых} = 0.75$  – напряжение с выхода емкостного преобразователя.

Передаточная функция фильтра нижних частот:

$$W_q(s) = \frac{6}{0.0233333s^2 + 0.66407s + 1}.$$

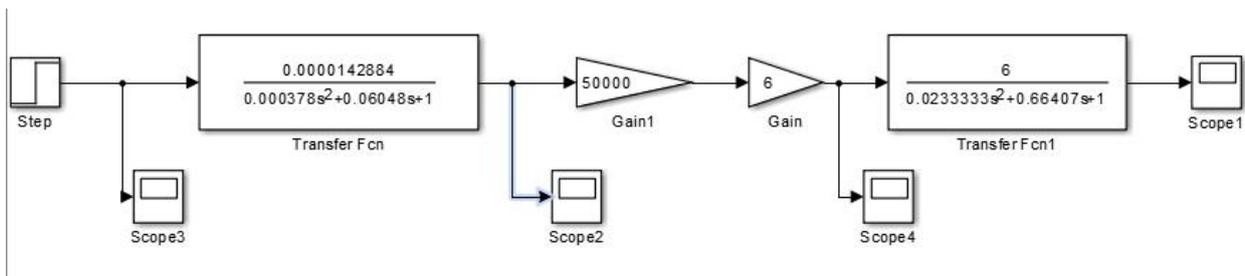


Рис. 4. Схема измерительной цепи в пакете Matlab Simulink

На вход подаем единичный сигнал – единичный скачок. Сигнал фильтра нижних частот приведен на рис. 5.

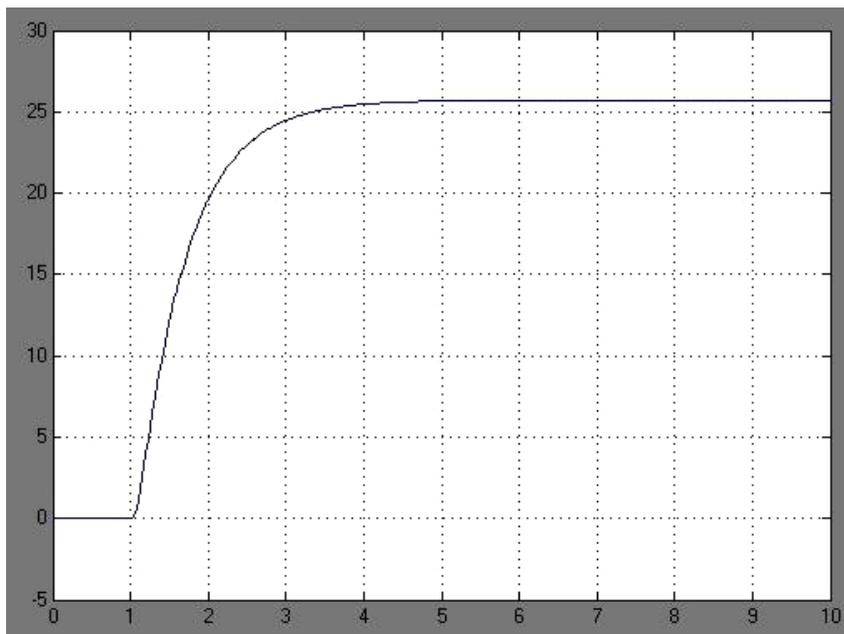


Рис. 5. Сигналы с выхода фильтра нижних частот

Теперь добавляем помеху в систему идеального датчика и вводим обратную связь для уменьшения помех. Схема представлена на рис. 6. Результаты моделирования приведены на общем графике (рис. 5).

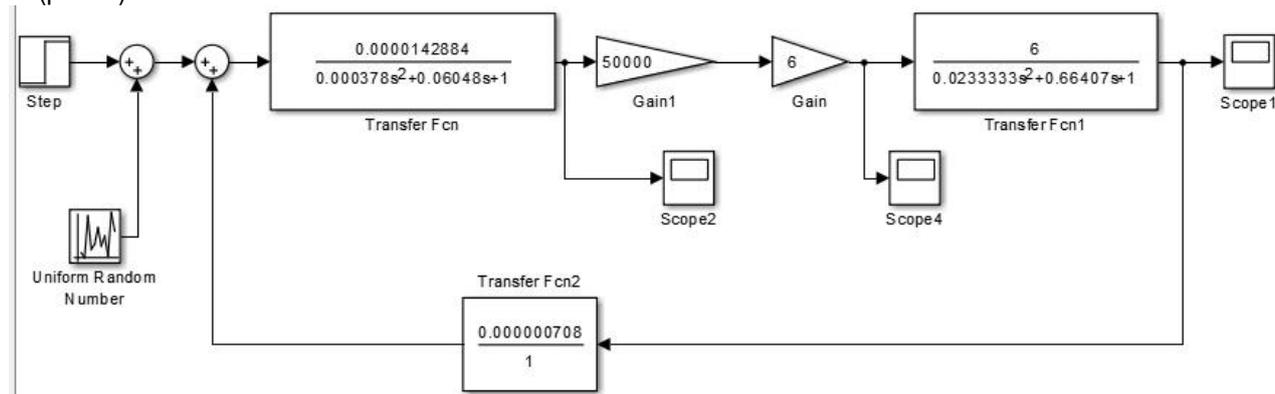


Рис. 6. Схема измерительной цепи МЭМС акселерометра с введенной помехой и обратной связью

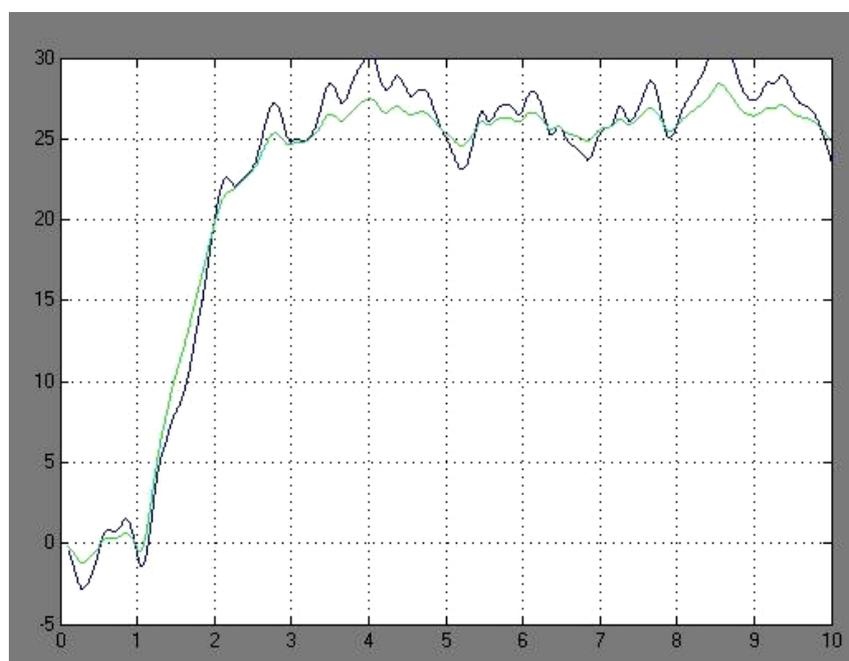


Рис. 7. Сигнал с выхода датчика с введенной помехой и обратной связью

Где желтый график – сигнал с выхода фильтра системы без ОС, фиолетовый график – сигнал с выхода фильтра с введенной ОС.

По рис. 7 видно, что с введением ОС в систему, мы увеличили точность сигнала примерно на 10%. Это говорит о том, что такой метод повышения точности показаний МЭМС акселерометра действителен.

### Библиографический список

1. Распопов В. Я. Микромеханический акселерометр прямого преобразования: математическая модель и частотные характеристики // Датчики и системы. 2002. № 8. С. 5–9.
2. Челпанов И. Б., Кочетков А. В. Метрологические характеристики микромеханических приборов // Метрология. 2014. № 9.
3. Evstifeev M. I., Eliseev D. P., Chelpanov I. B. Enhancing the Mechanical Resistance of Micromechanical Gyros // Gyroscopy and Navigation. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 115–122.
4. Syed Z. Design and Implementation Issues of a Portable Navigation System: PHD Thesis. – Calgary, Canada: The University of Calgary, 2009.

УДК 531.383

**А. Н. Артемьев**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. А. Тупышев** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ВАРИАЦИИ АЛЛАНА ДЛЯ ВИНЕРОВСКОГО ПРОЦЕССА

На сегодняшний день для выработки навигационных и динамических параметров широкое распространение получили стохастические методы обработки информации, в том числе методы калмановской фильтрации. Эффективность таких фильтров существенно зависит от точности описания небелозумных возмущений и ошибок измерений. Как следствие одной из основных задач является идентификация параметров формирующих фильтров, используемых для описания этих процессов.

В предложенной работе рассматривается возможность идентификации параметров методом вариации Аллана. В последнее время этот метод получил широкое распространение при исследовании свойств случайных ошибок чувствительных элементов инерциальных систем (гироскопов и акселерометров) [1]. Ряд известных приборостроительных фирм включает оценку вариации Аллана в спецификации на инерциальные приборы [2].

Суть метода вариации Аллана состоит в следующем [1,3]. Предположим, что имеется  $L$  наборов из  $M$  значений случайной последовательности:

$$\underbrace{x_1, x_2, \dots, x_M}_{i=1}, \underbrace{x_{M+1}, \dots, x_{2M}}_{i=2}, \dots, \underbrace{x_{(L-1)M+1}, \dots, x_{LM}}_{i=L}, \quad (1)$$

и для каждого из них вычисляется среднее значение

$$\bar{x}_i(M) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_{(i-1)M+j}, i = \overline{1 \dots L}. \quad (2)$$

Вариация Аллана определяется следующим соотношением:

$$\sigma_A^2(M) = \frac{1}{2(L-1)} \sum_{i=1}^{L-1} (\bar{x}_{i+1}(M) - \bar{x}_i(M))^2. \quad (3)$$

Отсюда следует, что вариация Аллана представляет собой оценку одной второй дисперсии разности средних значений  $\bar{x}_i(M)$ , рассчитанных для каждой группы [1].

В методе вариации Аллана предполагается наличие следующих случайных процессов: случайного наклона, винеровского процесса, белого шума, фликкер-шума и шума квантования. Исходя из предположения о наличии в процессе всех упомянутых составляющих, можно представить вариацию Аллана  $\sigma_A^2(\tau)$  в следующем виде:

$$\sigma_A^2(\tau) = R^2 \frac{\tau^2}{2} + K^2 \frac{\tau}{3} + B^2 \frac{2}{\pi} \ln 2 + N^2 \frac{1}{\tau} + Q^2 \frac{3}{\tau^2}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – время осреднения,  $R, K, B, N, Q$  – коэффициенты.

Значения коэффициентов  $R, K, B, N, Q$  характеризуют интенсивность отдельных шумовых составляющих выходного сигнала измерителя. Определение значений коэффициентов  $R, K, B, N, Q$  обычно осуществляется путем аппроксимации по методу наименьших квадратов [2, 3].

В данной работе покажем точное аналитическое выражение вариации Аллана для винеровского процесса. Предположим, модель описывается последовательностью:

$$x_n = x_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{n-1} \Delta T. \quad (5)$$

На первом интервале последовательность имеет вид:

$$x_0, x_0 + V_1 \Delta T, x_0 + V_1 \Delta T + V_2 \Delta T, \dots \quad (6)$$

Далее суммируются отсчёты и находится среднее арифметическое по формуле

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i = \frac{1}{M} (Mx_0 + (M-1)V_1\Delta T + (M-2)V_2\Delta T + \dots + V_M\Delta T). \quad (7)$$

Аналогично на втором интервале

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{M} \sum_{i=M+1}^{2M} x_i = \frac{1}{M} (Mx_M + (M-1)V_{M+1}\Delta T + (M-2)V_{M+2}\Delta T + \dots + V_{2M}\Delta T). \quad (8)$$

Находя разность, будем иметь

$$\bar{x}_2 - \bar{x}_1 = \frac{1}{M} (M(x_M - x_0) + M(V_{M+1} - V_1)\Delta T + (M-1)(V_{M+2} - V_2)\Delta T + \dots). \quad (9)$$

Аналогично можно записать разность  $\bar{x}_3 - \bar{x}_2$  и последующие разности. Учитывая, что

$$x_M = x_0 + \sum_{i=1}^M V_i\Delta T, \text{ тогда}$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_2 - \bar{x}_1 &= \frac{\Delta T}{M} \left( \sum_{i=1}^M V_i + M(V_{M+1} - V_1) + (M-1)(V_{M+2} - V_2) + \dots + (V_{2M} - V_M) \right) = \\ &= \frac{\Delta T}{M} (MV_{M+1} + (M-1)V_{M+2} + \dots + V_{2M}) + \frac{\Delta T}{M} (\sum_{i=1}^M V_i - MV_1 - (M-1)V_2 - \dots - V_M) = \\ &= \frac{\Delta T}{M} ((MV_{M+1} + (M-1)V_{M+2} + \dots + V_{2M}) - (M-1)V_1 - (M-2)V_2 - V_{M-1} - (M-M)V_M). \end{aligned} \quad (10)$$

Полагая параметры  $V_i$  независимыми с дисперсиями  $\sigma_V^2$ , найдём дисперсию выражения, представляющего собой точное выражение вариации Аллана

$$\begin{aligned} D &= m \{ (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^2 \} = \frac{\Delta T^2}{M^2} m \{ (MV_{M+1} + (M-1)V_{M+2} + \dots + V_{2M}) + (1-M)V_1 + (2-M)V_2 + (1-1)V_{2M} \}^2 = \\ &= \frac{\Delta T^2}{M^2} ((M^2 + (M-1)^2 + \dots + 1) + (1-M)^2 + (2-M)^2 + \dots + 1) \sigma_V^2 = \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{M^2} \left( \sum_{i=1}^M (i)^2 + \sum_{j=1}^{M-1} (j)^2 \right) = \\ &= \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{M^2} \left( \frac{M}{6} ((2M^2 + 3M + 1) + (2M^2 - 3M + 1)) \right) = \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{M} \left( \frac{2}{6} (2M^2 + 1) \right) = \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{M} \frac{1}{3} (2M^2 + 1). \end{aligned} \quad (11)$$

При наличии интервалов  $L-1$  вариация Аллана будет определяться выражением, отличающимся от приводимых в работах [1, 2] по вариациям Аллана на величину  $\frac{\Delta T^2 q^2}{6\tau}$

$$\sigma_A^2 = \frac{L-1}{2(L-1)} \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{3M} (2M^2 + 1) = \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{3} M + \frac{\Delta T^2 \sigma_V^2}{6M} = \frac{\tau \sigma_V^2 \Delta T}{3} + \frac{\Delta T^3 \sigma_V^2}{6\tau} = \frac{\tau q^2}{3} + \frac{\Delta T^2 q^2}{6\tau} \quad (12)$$

Заметим, что второе слагаемое с точностью до коэффициентов совпадает с вариацией Аллана для белого шума, что может привести к неточности определения коэффициентов с использованием (4).

Вывод вариации Аллана для винеровского процесса показал, что точное выражение для этого процесса содержит два слагаемых, при этом второе слагаемое с точностью до коэффициентов совпадает с вариацией Аллана для белого шума. Пренебрежение вторым слагаемым может отрицательно влиять на определение коэффициентов в формуле (4) при наличии в случайном процессе, описывающих возмущения и ошибки измерений, белого шума и винеровского процесса. Определение точности идентификации этих процессов будет проведено при дальнейших исследованиях.

**Библиографический список**

1. Степанов О. А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч.1. Введение в теорию оценивания. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 509 с.
2. Кучерков С. Г. и др. Использование вариации Аллана при исследовании характеристик микромеханического гироскопа / С. Г. Кучерков, Д. И. Лычёв, А. И. Скалон, Л. А. Чертков // Гироскопия и навигация. № 2(41). 2003. С. 98–104.
3. Lawrence C. Ng. On the Application of Allan Variance Method for Ring Laser Gyro Performance Characterization. 1993.

УДК 629.052.7

**А. А. Бусарева**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Г. Никитин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ**

Калибровка измерительных приборов – это установление зависимости между показаниями средства измерительной техники и размером измеряемой (входной) величины. Эта операция необходима для того, чтобы считывать правильные показания прибора с учетом оговоренной точности.

Обычно процесс калибровки происходит следующим образом: на вход датчика подают эталонную величину и сравнивают показания датчика со значением эталона. Разницей этих показаний является аддитивная или мультипликативная погрешности. На основании показаний принимают решение о смещении нуля, умножении показаний прибора на какой-то коэффициент, и другие.

В данной работе будут рассмотрены калибровка микроэлектромеханического (МЭМС) акселерометра на центрифуге, калибровка МЭМС акселерометра на поворотном стенде, а также расчет калибровочных параметров для трехстепенного МЭМС акселерометра блока инерциальных датчиков LSM6DS3 от компании STMicroelectronics.

Метод на центрифуге используется для приборов, рассчитанных на большой диапазон ускорений. Перегрузки больше одного  $g$  достигаются путем вращения прибора с необходимым ускорением и изменения плеча от центра описываемой окружности до испытываемого прибора.

Центрифуга представляет собой уравновешенный стол или рычаг, который может вращаться вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью. С помощью центрифуги на преобразователь ускорения можно подавать постоянное ускорение с высокой точностью в течение необходимого времени. На центрифугах можно калибровать только преобразователи ускорения поступательной вибрации, имеющие отклик на нулевой частоте. Для проведения калибровки преобразователь ускорения устанавливают на столе или рычаге центрифуги таким образом, чтобы его ось чувствительности совпадала с радиусом окружности вращения. Ускорение, действующее на преобразователь, можно рассчитать по формуле:

$$a = \omega^2 r, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая частота центрифуги,  $r$  – расстояние от оси вращения до центра масс. Преобразователь ускорения устанавливают на расстоянии от оси вращения, чтобы создаваемое при вращении отклонение его массы было пренебрежимо мало по сравнению со значением  $r$ .

В этом случае калибровочными параметрами будут значения масштабного коэффициента и смещения нуля МЭМС акселерометра на всем рабочем диапазоне измерений. Для этого предлагается использовать формулы:

$$K_1 = \frac{E_{max} - E_{min}}{2a}, \quad (2)$$

$$K_0 = \frac{E_{max} + E_{min}}{2K_1}, \quad (3)$$

где  $K_1$  – масштабный коэффициент,  $E_{max}$  – выходной сигнал акселерометра при положительном направлении измерительной оси,  $E_{min}$  – выходной сигнал акселерометра при отрицательном направлении измерительной оси,  $K_0$  – смещение нуля.

Калибровка МЭМС акселерометра на поворотном стенде представляет собой осуществление серии позиционирований в поле силы тяжести Земли вокруг каждой из осей приборной системы координат OXYZ.

Стенду задаются определенные угловые положения таким образом, чтобы менялась проекция ускорения свободного падения  $g$  на оси чувствительности акселерометра. Следовательно, диапазон задаваемых линейных ускорений составляет  $\pm g$ .

Рассмотрим данный метод калибровки для трехстепенного акселерометра. Для этого снимем показания калибруемого МЭМС акселерометра в положениях максимальной чувствительности для каждой из осей. Очевидно, что если измеряемая величина подается строго вдоль одной из осей чувствительности, то показания по другим осям будут равны 0. В качестве эталонного значения ускорения возьмем ускорение свободного падения  $g$ .

В табл. 1 представлены положения поворотного стенда для калибровки МЭМС акселерометра:

Таблица 1

Положения поворотного стенда для калибровки акселерометра

Положение	$A_x$	$A_y$	$A_z$
$z \downarrow$	0	0	$g$
$z \uparrow$	0	0	$-g$
$y \downarrow$	0	$g$	0
$y \uparrow$	0	$-g$	0
$x \downarrow$	$g$	0	0
$x \uparrow$	$-g$	0	0

Калибровочные измерения определяются с помощью решения матричного уравнения [3]:

$$\begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{x2} \\ A_{x3} \end{bmatrix} = [A_{m_{3 \times 3}}] \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{A_{scx}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{A_{scy}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{A_{scz}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_x - A_{0sx} \\ A_y - A_{0sy} \\ A_z - A_{0sz} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

(4) – матричная форма уравнения  $A = \frac{R - R_0}{\text{tg}\alpha}$  для трех осей, где  $A_{0sx}$  – смещение нуля по оси

$x$ ,  $A_x$  – выходной сигнал по оси  $x$ ,  $A_{scx}$  – чувствительность оси  $x$ ,  $A_{x1}$  – проекция кажущегося ускорения на оси системы координат, связанных с объектом,  $[A_{m_{3 \times 3}}]$  – матрица для пересчета проекций ускорения, связанных с датчиком в географической системе координат (матрица направляющих косинусов).

Датчик выдает результаты, связанные с его системой координат. Для пересчета проекций ускорения в географическую систему координат используется матрица направляющих косинусов  $[A_{m_{3 \times 3}}]$  [1]:

$$[A_{m_{3 \times 3}}] = \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\psi & -\cos\gamma \cos\psi \sin\theta & \sin\gamma \cos\psi \sin\theta + \cos\gamma \sin\psi \\ \sin\theta & \cos\gamma \cos\theta & -\sin\gamma \cos\theta \\ -\cos\theta \sin\psi & \cos\gamma \sin\psi \sin\theta + \sin\gamma \cos\psi & -\sin\gamma \sin\psi \sin\theta + \cos\gamma \cos\psi \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $\psi$  – угол рыскания;  $\theta$  – тангажа;  $\gamma$  – крена.

Уравнение (4) может быть переписано в виде:

$$\begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ACC_{11} & ACC_{12} & ACC_{13} \\ ACC_{21} & ACC_{22} & ACC_{23} \\ ACC_{31} & ACC_{32} & ACC_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ACC_{10} \\ ACC_{20} \\ ACC_{30} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $\begin{bmatrix} ACC_{10} \\ ACC_{20} \\ ACC_{30} \end{bmatrix}$  – смещение нуля.

Перепишем уравнение (5) в виде

$$[A_{x1} A_{y1} A_{z1}] = [A_x A_y A_z 1] \cdot \begin{bmatrix} ACC_{11} & ACC_{12} & ACC_{13} \\ ACC_{21} & ACC_{22} & ACC_{23} \\ ACC_{31} & ACC_{32} & ACC_{33} \\ ACC_{10} & ACC_{20} & ACC_{30} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Обобщая (6):

$$Y = \omega X, \quad (7)$$

где  $X$  – матрица с двенадцатью калибровочными параметрами,  $\omega$  – матрица результатов измерений, полученных в шести указанных значениях (из таблицы с положениями акселерометра для калибровки),  $Y$  – матрица проекций на оси системы координат, связанной с объектом.

Расчет калибровочных параметров произведен методом калибровки МЭМС акселерометра на поворотном стенде для трехстепенного МЭМС акселерометра блока инерциальных датчиков LSM6DS3 от компании STMicroelectronics [2].

Произведем измерения в соответствии с положениями датчика, указанными в табл. 1. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Проанализировав полученные измерения, рассчитаем смещение нуля  $A_{i0}$  по каждой из осей координат МЭМС акселерометра по формуле:

$$A_{i0} = \frac{A_{imax} - A_{imin}}{2}, \quad i = 1..3 \quad (8)$$

где  $A_{imax}$ ,  $A_{imin}$  – максимальное и минимальное отклонения показаний измерения по каждой из осей координат от эталона соответственно.

Таблица 2

### Результаты эксперимента

Положение	$A_x$	$A_y$	$A_z$
$z \downarrow$	-0,1563	-0,1503	+9,608
$z \uparrow$	-0,0343	-0,2473	-10,1576
$y \downarrow$	-0,3705	+9,4568	-0,2848
$y \uparrow$	-0,1970	-10,0542	-0,2261
$x \downarrow$	+9,8253	-0,3334	-0,1292
$x \uparrow$	-10,0495	-0,4399	-0,2584

Тогда матрица смещения нуля будет иметь вид

$$\begin{bmatrix} ACC_{10} \\ ACC_{20} \\ ACC_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1776 \\ 0,1448 \\ 0,1092 \end{bmatrix}.$$

Зная матрицу смещения нуля, значения ускорений, полученные в результате измерений (табл. 2), и значения эталонных ускорений (табл. 1), можно рассчитать из уравнения (5) значения остальных калибровочных параметров [3]. Тогда для данного эксперимента уравнение (6) примет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} A_{x1} & A_{y1} & A_{z1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_x & A_y & A_z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,7260 & 1,7068 & 1,0620 \\ 0,0515 & 0,0514 & 0,0313 \\ 0,0104 & 0,0135 & 0,0064 \\ 0,1776 & 0,1448 & 0,1092 \end{bmatrix}.$$

Матрица с двенадцатью калибровочными параметрами содержит в себе информацию об аддитивной и мультипликативной погрешностях. С ее помощью можно повысить точность показаний МЭМС акселерометра блока инерциальных датчиков LSM6DS3.

Рассмотренные в статье методы калибровки МЭМС акселерометров – самые распространенные в настоящее время. Их использование обусловлено диапазонами работы датчика. Для малых амплитуд значения ускорений ( $\pm g$ ) наибольшей точностью будет обладать калибровка с использованием поворотного стенда. МЭМС акселерометр с таким диапазоном может использоваться в системах ориентации летательного аппарата. Недостатком данной методики является ограниченный диапазон измеряемого ускорения – максимальным его значением будет значение равное ускорению свободного падения  $g$ . Для больших диапазонов измерения ускорения ( $\pm 100g$ ) предпочтительно осуществлять калибровку на центрифуге. Калибровка в таком диапазоне нужна, например, для использования акселерометра в ракетоносителе. Существенным недостатком указанного способа является наличие методической погрешности передачи размера ускорения, вызванной сочетанием неоднородности поля воспроизводимых ускорений по радиусу вращения ротора и неопределенности положения центра инерции чувствительного элемента акселерометра относительно контрольной точки радиуса центрифуги [4]. Одним из способов устранения данных недостатков является сочетание этих двух методик калибровки.

#### Библиографический список

1. Матвеев В. В., Распопов В. Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.
2. Козлов Д. П. Вопросы испытаний микромеханических приборов на центрифуге // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 6. С. 25–33.
3. Шаврин В. В., Конаков А. С., Тисленко В. И. Калибровка микроэлектромеханических датчиков ускорений и угловых скоростей в бесплатформенных инерциальных навигационных системах // Доклады ТУСУРа. 2012. № 1(25). Ч. 2. С. 265–269.
4. Устюгов М. Н., Щипицына М. А. Калибровка акселерометра бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Вестник ЮУрГУ. 2006. № 14. С. 140–143.
5. LSM6DS3 iNEMO Inertial Module: Always-on 3D Accelerometer and 3D Gyroscope. Datasheet / STMicroelectronics.

УДК 66.071.4

**А. М. Гамаев**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Г. Никитин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТТЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЭМС-ДАТЧИКОВ

МЭМС-датчики, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала, а все движущиеся части датчика помещены в герметичный корпус самого прибора. Этим обуславливается их высокая надёжность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно жёстких условиях окружающей среды.

На данный момент в большинстве случаев герметизация датчиков осуществляется путём помещения чувствительных элементов и других структур в специальные корпуса. Герметизация ЧЭ МЭМС-датчика с помощью дискретных корпусов – сложное и дорогостоящее решение, при этом существенно увеличивающее производственный цикл из-за необходимости герметизации каждого датчика отдельно друг от друга.

Таким образом, целью данной работы является ознакомление с методом корпусирования МЭМС-датчиков на уровне пластины, рассмотрение проблемы сохранения требуемого уровня вакуума в течение длительного времени, анализ применения геттера, его свойства и характеристики [1–2].

#### Вакуум в МЭМС

Нынешние перспективы производства микроэлектромеханических систем связаны с корпусированием на уровне пластины (WLP – waferlevelpacking). Метод основан на сварке пластин (waferbonding), т.е. пластина с кремниевыми структурами совмещается и затем неразрывно соединяется с пластиной-крышкой. Это позволяет значительно ускорить и удешевить процесс изготовления МЭМС приборов, так как таким образом на пластине можно расположить около сотни датчиков рис. 1.

Пластины со структурами

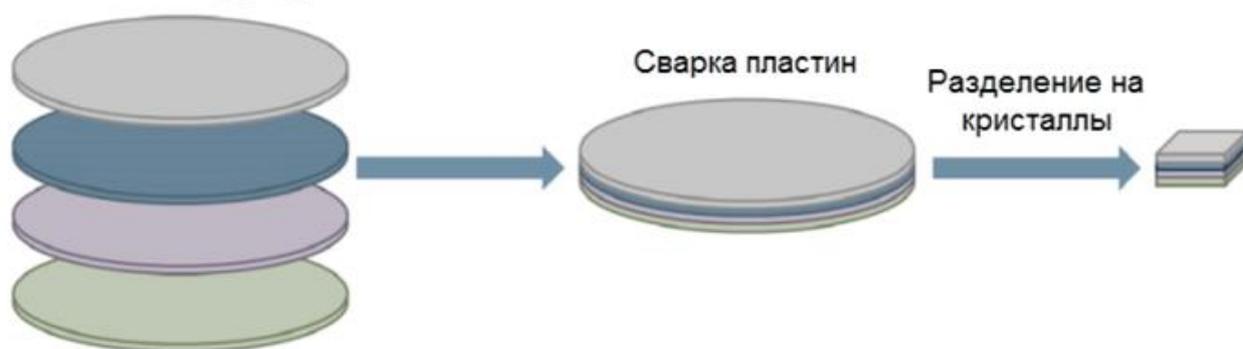


Рис. 1. Корпусирование на уровне пластины

Поддержание определенного уровня вакуума при корпусировании на уровне пластины весьма сложная задача, поскольку ни одно соединение не является абсолютно герметичным, и приходится бороться с утечками и дегазацией. Такая проблема начинает проявляться сильнее, если объём герметизируемого пространства мал, т.е. именно в нашем случае. Для борьбы с этой проблемой часто требуется использовать материалы, поглощающие газы – геттеры, стеклокерамические припои (например, Namics, Ferro), специальные сплавы и др. Успешное решение задачи по поддержанию нужного уровня вакуума в течение всего периода эксплуатации устройства зависит от выбора материалов и методов сварки пластин, требований надежности и долговечности.

Сама сварка может выполняться непосредственно (кремний-кремний; кремний-стекло) или с помощью различных промежуточных слоёв таких как: металлы, сплавы, полимеры и стеклокерамические припои [3].

### Причины изменения вакуума в герметичном объёме МЭМС

После герметизации МЭМС по средствам применения дискретного корпуса, с полости этого корпуса производят откачку для создания вакуумной среды. Однако после прекращения откачки давление внутри любого герметичного корпуса так или иначе изменится по следующим трём причинам (рис. 2):

1. Проницаемость материала для газа;
2. Утечка по границам материалов;
3. Дегазация.

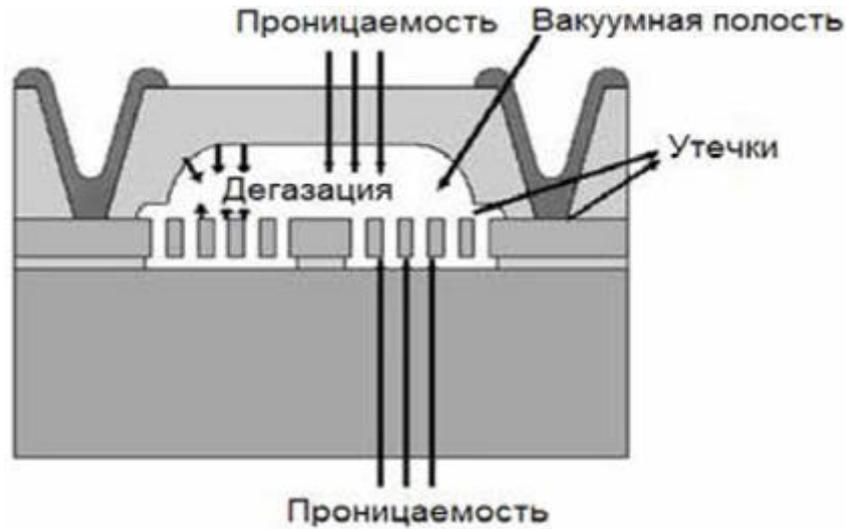


Рис. 2. Изменения вакуума в МЭМС

Для решения первой проблемы необходимо выбрать материал, который будет сильнее остальных препятствовать проницаемости газа, такими материалами являются: кристаллы, металлы, сплавы и стёкла (рис. 3).

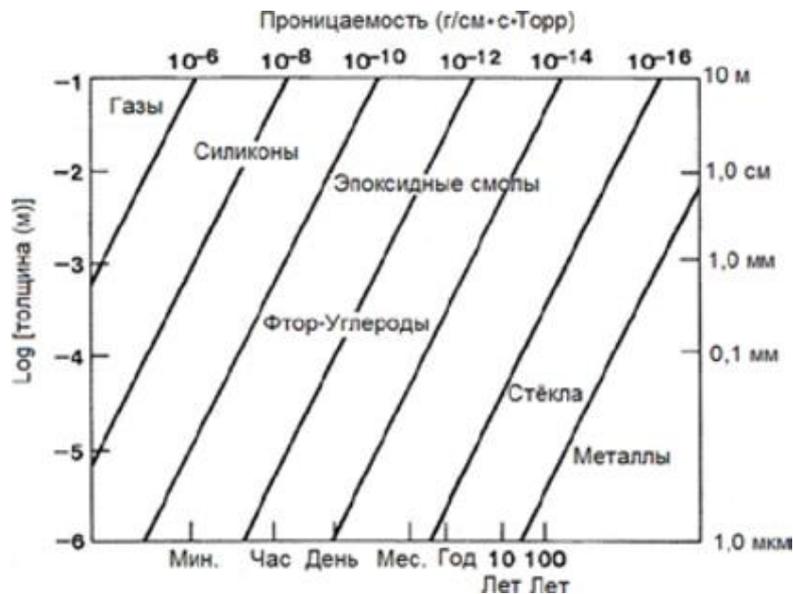


Рис. 3. Проницаемость различных материалов для паров воды

Однако полимеры не могут препятствовать проникновению через них газов, это связано с их структурой. Поэтому в качестве оптимального варианта для вакуумного корпусирования следует рассматривать сварку через эвтектические сплавы (AuSn, AuSi), интерметаллические соединения (CuSn) и

легкоплавкие металлы (Ln). Вакуума соединений также можно добиться при сварке пластин с помощью стеклянной пасты.

Утечки по границам материалов и дегазация – первопричина повышения давления внутри объёма корпуса. Данные факторы проявляются сильнее, если степень вакуума ниже. Эти факторы не критичны, например, для МЭМС-акселерометров и микроключей, которые обычно работают при низких (больше  $10^3$  Па) и средних (от  $10^3$  до  $10^{-1}$  Па) уровнях вакуума, в этом случае изменение давления незначительно даже после многих лет использования. Однако совершенно другая ситуация обстоит с приборами, которые требуют для работы высокую степень вакуума (ниже  $10^{-1}$  Па), такие как МЭМС-гироскопы, резонаторы и приборы вакуумной микроэлектроники. Высокий вакуум нарушается достаточно быстро после прекращения процедуры откачки (рис. 4), поэтому для сохранения вакуума внутри герметичной полости корпуса МЭМС-датчика необходимо включать газопоглотитель – геттер.

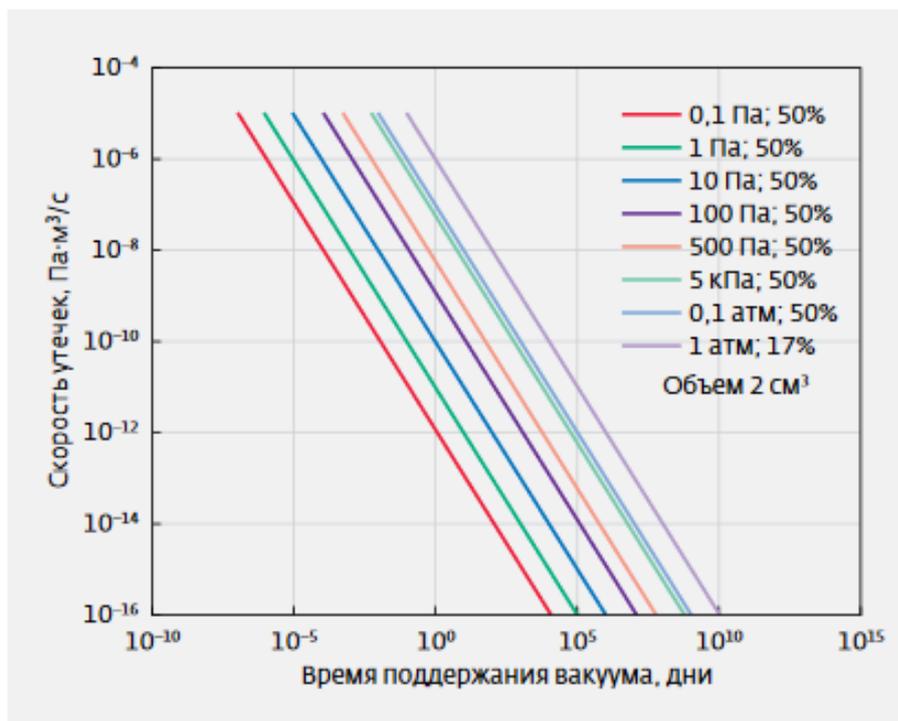


Рис. 4. Изменение внутрикорпусного давления

Уровни вакуума необходимые для работы различных МЭМС устройств рассмотрены в табл. 1.

Таблица 1

**Уровни вакуума для различных приборов**

Прибор	Требуемое давление, Па	Уровень вакуума
МЭМС-акселерометр	$10^2-10^4$	Низкий и средний
МЭМС-датчик давления	$10^2-10^4$	Низкий и высокий
МЭМС-гироскоп	$10^{-2}-10^5$	Средний и высокий
Радиочастотный МЭМС-переключатель	$10-10^{-2}$	Средний и высокий
Микроболометр	$<10^{-2}$	Высокий

**Геттеры – газопоглотители и их свойства**

Довольно часто при герметизации значительную часть остаточной атмосферы внутри объёма прибора составляют пары воды, кислород и азот. Влияние этих газов напрямую влияет на долговечность МЭМС-датчика.

Так, например, повышенная концентрация паров воды в корпусе приводит к быстрому изнашиванию подвижных узлов ЧЭ датчика (рис. 5).

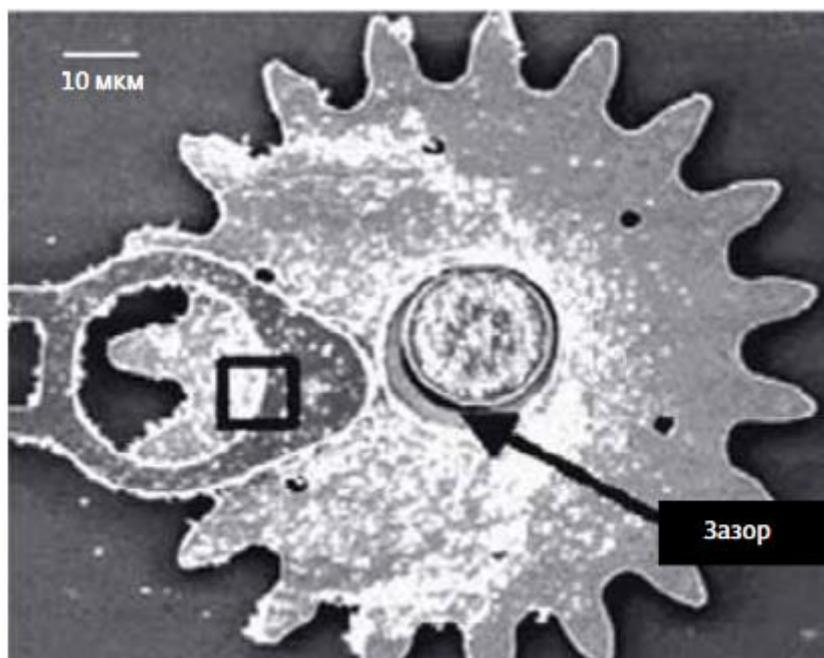


Рис. 5. Износ оси вращения микрошестерни при повышенной влажности

Использование газопоглотителя позволяет уменьшить или свести к минимуму содержание того или иного компонента атмосферы внутри корпуса МЭМС-датчика.

Существует два вида геттеров: распыляемые и не распыляемые.

В первом случае вещество нагревается в вакууме, в результате чего испаряется и переосаждается какой-либо компонент, который потом поглощает геттер. Однако при таком применении геттера в производстве МЭМС-датчиков неизбежно изменится масса ЧЭ прибора, что в свою очередь значительно повлияет на первоначально рассчитанные характеристики датчика, при этом отследить или отконтролировать изменение массы ЧЭ физически невозможно.

В производстве МЭМС актуально использовать второй тип геттера – не распыляемый. Газопоглотитель такого типа поглощает газ сразу, не изменяет массу ЧЭ МЭМС-датчика, однако требует активации температурой при пониженном давлении.

Эффективность геттера характеризуется двумя важными параметрами:

1. Сорбционная ёмкость – количество газа, которое может поглотить геттер за единицу времени;
2. Избирательность – способность геттера проявлять активность к определённым газам.

Руководствуясь двумя вышеописанными характеристиками газопоглотителя, можно выбрать наиболее лучший геттер для каждого вида МЭМС-датчика, который бы позволял сохранять требуемый уровень давления внутри изделия на протяжении всего периода эксплуатации.

Важно знать состав остаточной атмосферы внутри корпуса МЭМС-датчика. Это позволит подобрать геттер, который обеспечит эффективное поглощение остаточных газов в объёме прибора [4–5].

Влияние уровня вакуума на добротность

Добротность – это характеристика затухания колебаний масс МЭМС-датчика, т.е. показатель вакуума в капсуле. Чем выше показатель добротности, тем меньше потерь энергии при прекращении подачи питания на датчик, т.е. после отключения датчика, массы будут раскачиваться тем дольше, чем добротность выше.

Применение геттера при вакуумировании позволяет увеличить вакуум в полости датчика. Наглядно соотношение добротности МЭМС-гироскопа с применением геттера и без геттера представлено на рис. 6.

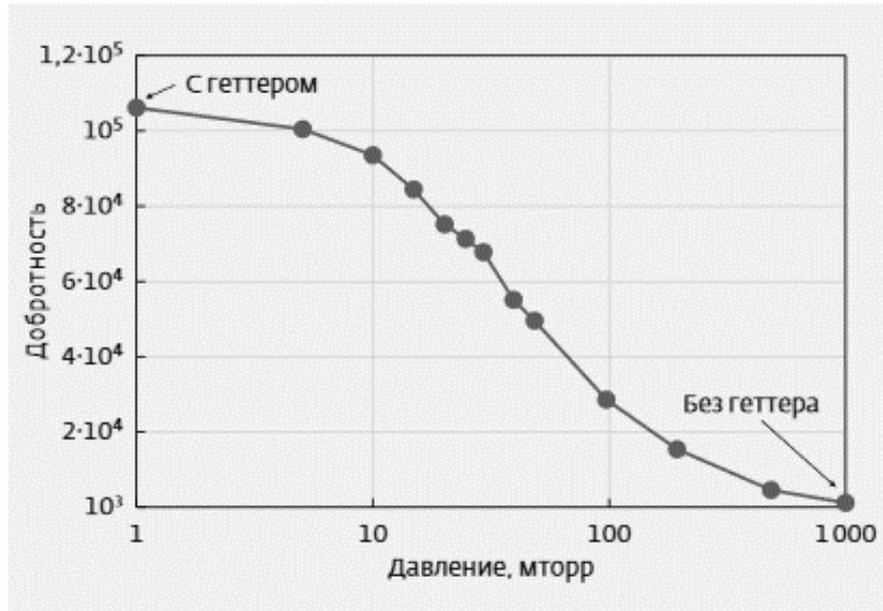


Рис. 6. Добротность при использовании геттера и без него

Также для наглядности был проведён эксперимент с конкретным МЭМС-гироскопом, для выявления зависимости добротности от давления. В качестве опытного образца был взят 4М-гироскоп. Зависимость его добротности от давления внутри объёма датчика представлена на рис. 7.

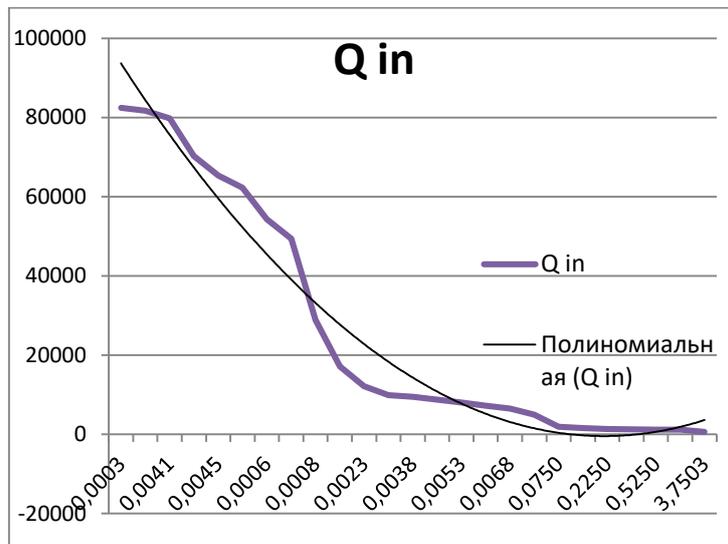


Рис. 7. Зависимость добротности от давления

Из графика очевидно, что увеличение давления существенно снижает значение добротности. Соответственно можно сделать вывод, что коэффициент полезного действия колебательной (КПД) системы без применения геттера будет значительно меньше, чем в случае применения геттера.

Жизненный цикл вакуумного прибора без применения геттера вычисляется по следующей формуле (1):

$$t = \frac{P_{\max} V}{P_{\text{atm}} V_{\text{утч}}}, \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное давление внутри полости;  $V$  – объём полости;  $P_{\text{atm}}$  – атмосферное давление,  $V_{\text{утч}}$  – скорость утечек.

Стандартный объём МЭМС, корпусированных на уровне пластины, составляет порядка  $10^{-3}$  см<sup>3</sup>, при этом скорость утечек около  $10^{-14}$  см<sup>2</sup>/с. Таким образом, если гироскоп имеет максимальное давление 1Па внутри корпуса, то оно продержится менее месяца, при этом в данном примере не учтена дегазация, что сократит время эксплуатации ещё порядка в два раза. Конечно, такая ситуация не позволяла бы применять МЭМС-датчики где-либо, однако геттер позволяет в значительной степени уменьшить и утечки, и дегазацию.

### Вывод

Таким образом, целью данной работы является ознакомление с методом корпусирования МЭМС-датчиков на уровне пластины, рассмотрение проблемы сохранения требуемого уровня вакуума в течение длительного времени, анализ применения геттера, его свойства и характеристики.

В данной статье:

1. Был рассмотрен метод корпусирования МЭМС-датчиков на уровне пластины, выяснено, что такой метод экономически выгоднее, нежели метод корпусирования по средствам применения специальных корпусов.
2. Были описаны проблемы сохранения требуемого вакуума в течение длительного времени, рассмотрены проблемы, связанные утечкой давления из полости МЭМС-датчика.
3. Была описана зависимость добротности датчика от давления в корпусе датчика, с помощью эксперимента составлен график зависимости.
4. Рассмотрены свойства и характеристики геттера, описана его необходимость применения при корпусировании датчика.

### Библиографический список

1. Варадан В., Виной К., Джозе Л. ВЧ МЭМС и их применения. М.: Техносфера, 2004. С. 148–149.
2. Урманов Д. Н. Обзор российского рынка МЭМС. М.: Semicon, 2014.
3. Сеньков О. Д. MEMS системы. 2017 г. URL: [http://www.olegsenkov.com/downloads/Senkov\\_paper\\_MEMS-systems.pdf](http://www.olegsenkov.com/downloads/Senkov_paper_MEMS-systems.pdf) (дата обращения: 15.03.2019).
4. Технология вакуумной герметизации МЭМС. URL: [https://studwood.ru/1590406/tehnika/tehnologivakuumnoy\\_germetizatsii\\_mems](https://studwood.ru/1590406/tehnika/tehnologivakuumnoy_germetizatsii_mems) (дата обращения: 15.03.2019).
5. Нераспыляемые газопоглотители. URL: <http://vdbtc.com/language/ru/gazopoglotiteli/neraspylyaemye-gazopoglotiteli> (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 629.7.014.16

**Д. А. Драненков**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАЗЕМНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ДРОНОВ

Согласно Правилам использования воздушного пространства Российской Федерации, беспилотный летательный аппарат (БПЛА) определяется как «летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов» [1].

Беспилотные летательные аппараты (дроны) получили в последнее время большое распространение. Их простота позволяет им выполнять множество задач, в том числе и военного характера. Тема исследования системы охраны наземного объекта от малоразмерных БПЛА является актуальной за счёт того, что сейчас достаточно много реализаций дронов, благодаря которым они могут легко подойти для разведки территории и для точечного нанесения удара по наземным объектам. Создание системы охраны позволит бороться с ними и по возможности производить захват вражеского беспилотника.

БПЛА различают по методу взлёта и посадки. По методу взлёта можно выделить запуски с рук, со специальных устройств катапультного типа, со взлетной полосы, с подвижного объекта и вертикальный взлет. По методу посадки выделяют посадки на взлетную полосу, на подвижный объект, парашютная и вертикальные посадки. Так же, беспилотникам присваивают классы в зависимости от их массы, времени полета и от высотного потолка. Данное разбиение по классам представлено в табл. 1 [2].

Таблица 1

Классификация БПЛА

Класс	«Микро»	«Мини»	«Миди»	«Макси»
Масса	До 5 кг	До 150 кг	От 200 до 1000 кг	От 1 до 8–10 т
Время полета	Не более 1 ч.	3–5 ч.	20 ч.	1 сут.
Высотный потолок	1–2 км	3–5 км	5–6 км	20 км

В нашей стране широкое применение нашли БПЛА класса «Микро», потому что они дешевле относительно других классов, просты в использовании и их много на рынке. Поэтому в данной статье будут рассматриваться система охраны наземных объектов от беспилотников класса «Микро».

Рассмотрим несколько примеров реализации борьбы с малоразмерными БПЛА и перечислим их достоинства и недостатки.

Один из методов – применение системы захвата нарушителя при помощи сети. Рассматриваемый метод предполагает захват нарушающего дрона при помощи разворачивающей сети. Этот метод может применяться как с земли, так и с дрона-перехватчика. Данный метод является прост в использовании и может сохранить в целостности дрон-нарушитель. Из недостатков можно выделить малый радиус применения при использовании с земли и необходимость точного совмещения курса и скорости дрона-перехватчика с дроном-нарушителем.

Другой метод предполагает применение стреляющего ОУ ленточного типа. В этом методе происходит выпуск особого «серпантина», который нарушает полет дрона-нарушителя. Достоинства этого метода схожи с достоинствами выпуска сети. Однако при использовании дрона-перехватчика возможно попадание «серпантина» в лопасти винта.

Следующий метод предполагает использования огнестрельного поражения БПЛА. Этот метод подходит при необходимости ликвидации дрона-нарушителя в случаях особой опасности, в том числе и в случаях терроризма. В этом случае, дрон-нарушитель будет сильно повреждён или уничтожен.

Следует так же выделить использование радиолокационной системы от фирмы Blighter, которая использует AUDS (Anti-UAVDefenceSystem): система обнаружения, сопровождения и электромагнитного подавления БВС. В состав радиолокационной системы входит система видео и тепловизионного наблюдения и радиочастотный подавитель. Эта система может обнаружить БПЛА-нарушитель на больших высотах и на больших скоростях, после чего подавить и обезвредить БПЛА. Однако данная система имеет большое количество недостатков, в числе которых стоимость системы, громоздкость, невозможность приобретения на гражданском рынке, необходимость модернизации, так как система существует на рынке как минимум с 2000 года и эта система не может обнаружить малые БПЛА на малых дальностях и при низких скоростях полёта [3].

На замену AUDSPLC может прийти радиолокационная ручная радиотехническая система от фирмы BattelleDroneDefender. Узконаправленная антенна способна работать на ISM частотах, которые используют для передачи радиосигналов, данных глобальной навигации и спутниковой связи. Расходящийся от нее 30-градусный конус подменяет сигналы GPS и перехватывает управление аппаратом на расстоянии до 400 м. Однако следует добавить, что данная радиотехническая система все еще в разработке [4].

Построим табл. 2, в которой представлено соотношение достоинств и недостатков у методов борьбы с дроном-нарушителем, в которой так же обозначим возможность применения для дальнейшей разработки.

Таблица 2

**Соотношение количества достоинств и недостатков**

Метод борьбы	Сети	Ленточного типа	Огнестрельное поражение	РЛСАUDS	Ручная РТХС
Достоинства	3	4	2	3	4
Недостатки	2	3	1	4	1
Возможность применения для разработки	Есть	Есть	Есть	Не подходит для БПЛА класса «Микро»	Есть

Из данной табл. 2 видно, что к дальнейшему рассмотрению нам подходят 4 метода, кроме использования радиолокационной системы от фирмы Blighter, так как она имеет больше недостатков, чем достоинств и к тому же она не чувствительна к БПЛА класса «Микро» на низких скоростях полёта и при малых высотах.

Построим графики зависимости вероятности поражения цели в процентах разных методов борьбы от расстояния до дрона-нарушителя в метрах.

Исходя из графиков видно, что эффективность использования сети, ОУ ленточного типа и огнестрельное поражение совпадает. Ручная РТХС имеет большее расстояние использования по сравнению с другими методами, однако такую установку не представляется возможным установить на дрон-перехватчик.

Рассмотрев эти примеры реализации системы охраны наземного объекта от БПЛА, решено сделать комбинированную систему подавления дрона-нарушителя, которая будет устанавливаться на дрон-перехватчик. В данную систему войдут системы захвата нарушителя при помощи сети, ленточного типа и использование огнестрельного оружия.

В качестве дрона-перехватчика рассмотрим БПЛА «Фиксар И1» фирмы ООО «ИКС», компьютерная модель в программе «КОМПАС-3D» и внешний вид которого представлен на рис. 2 (а и б). Данный беспилотник является конвертопланом, т.е. совмещает в себе вертикальный взлёт, вертикальную посадку и полёт, как у БПЛА самолетного типа. Благодаря такой конструкции, БПЛА имеет ряд преимуществ, таких как запуск без установки и использования специальной катапульты, дополнительное оснащение парашютом, большая маневренность, относительно БПЛА самолетного типа и большая крейсерская скорость, относительно БПЛА квадрокоптерного типа. Также «Фиксар И1» имеет ручное и автоматическое управление, с возможностью его оперативного изменения в полете.

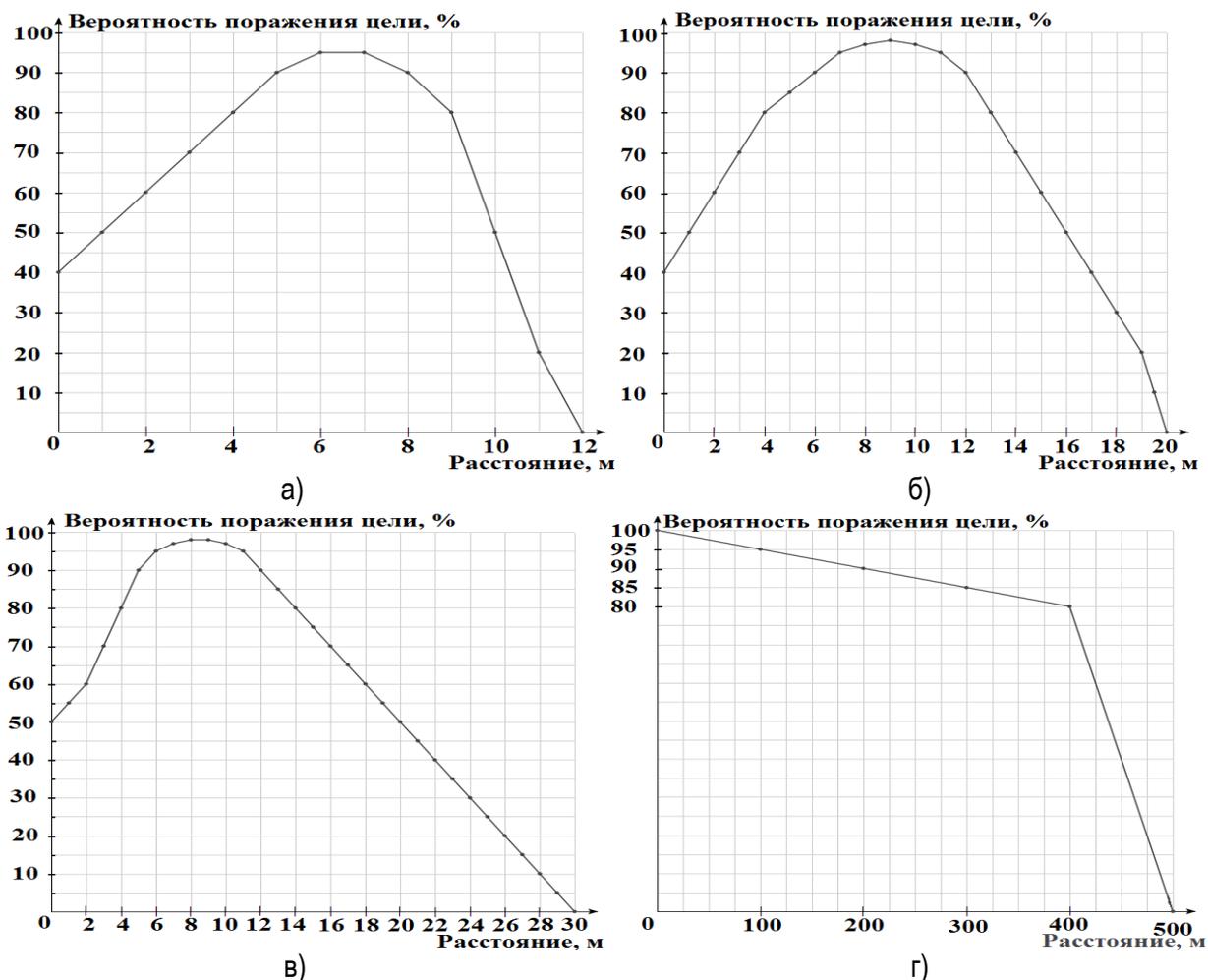


Рис. 1. Графики зависимости средств перехвата БПЛА с помощью сети (а), ОУ ленточного типа (б), огнестрельного поражения (в) и ручного РТХС (г)

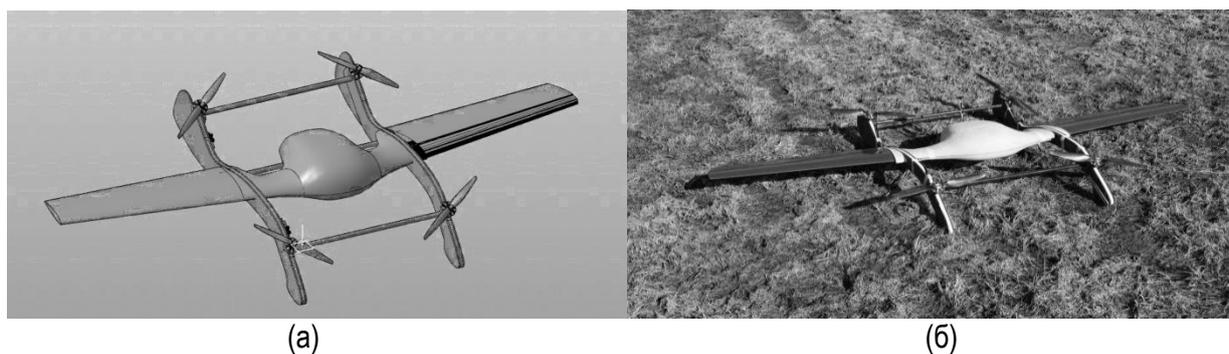


Рис. 2. Компьютерная модель (а) и внешний вид (б) БПЛА «Фиксар И1»

Согласно ТТХ на данный конвертоплан, изделие «Фиксар И1» предназначено для нейтрализации (уничтожения) БПЛА-нарушителя путем применения бортовых средств нейтрализации и уничтожения малоразмерных БПЛА. «Фиксар И1» должен иметь возможность размещения полезной нагрузки весом до 3,5 кг и иметь в составе 4 двигателя. Тип используемой АКБ – литий-полимерный съемный.

Крейсерская скорость полета составляет  $90 \pm 5$  км/ч, а максимальная скорость полета – 120 км/ч. Максимальная продолжительность полета в режиме висения (с точностью  $\pm 1,0$  м) – 15 минут. Максимальная продолжительность полета на крейсерском режиме – 25 минут, а на максимальной скорости – 10 минут. Скороподъемность – не менее 10 м/с, высота полета от 10 до 2500 метров. Дальность полета до 15 км, но дальность передачи данных по каналам управления и каналу передачи дан-

ных – 5 км. Максимальная эксплуатационная перегрузка составляет до 6 g (продолжительностью не менее 15 сек). Время выполнения разворота на 180 градусов в горизонтальной плоскости – не более 1,5 сек.

Требования к радиоканалу:

1. Дальность управления БПЛА по радиоканалу – до 5 км;
2. Должно обеспечиваться стабильное управление БПЛА с АРМ оператора с подсистемами приема, преобразования, отображения и регистрации измерительной информации, а также обеспечение выведения БПЛА в область пространства движущейся БПЛА-цели на основании данных целеуказания (ЦУ) от системы управления (СУ);
3. Информационно-командная радиопередача БПЛА должна быть оснащена бортовой аппаратурой спутниковой навигационной системы (СНС) [5].

Исходя из известных данных, комбинированная система подавления дрона-нарушителя не будет превышать веса в 3,5 кг, иметь возможность переключения между режимами поражения дрона-нарушителя и использование выбранного режима.

В данной статье была рассмотрена классификация БПЛА по методам взлёта, посадки, по массе, времени полета и по высотному потолку. Были показаны различные методы борьбы с дроном-нарушителем и был выбран комбинированный метод на базе беспилотника конвертопланового типа «Фиксар И1» фирмы ООО «ИКС». Дальнейшая работа будет заключаться в расчете аэродинамических характеристик данного БПЛА с полезной нагрузкой, без полезной нагрузки и при неполной нагрузке.

#### Библиографический список

1. Постановление правительства РФ от 11.03.2010 № 138 (ред. от 13.06.2018) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».
2. Моисеев В. С. Теория управления беспилотными летательными аппаратами / Казань: ГБУ Республиканский центр мониторинга качества образования, 2013. 768 с.
3. BlighterAnti-UAVDefenceSystem. URL: <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html> (дата обращения: 10.05.2019).
4. BattelleDroneDefender. URL: <https://www.battelle.org/government-offerings/national-security/payloads-platforms-controls/counter-UAS-technologies/dronedefender> (дата обращения: 12.05.2019).
5. ТТХ БПЛА «Фиксар И1».

УДК 629.7.064.53

**Ю. К. Дятлов**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Р. Н. Малаханов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДУКЦИОННОГО ВИБРАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

На сегодняшний день все более актуальной задачей становится поиск альтернативных источников электрического питания и построение на их основе разнообразных электронных устройств, использующих, например, энергию солнца, ветра, механической вибрации, тепла. Устройства малых размеров, построенные с целью использования подобных внешних источников, не способны генерировать значительное количество энергии, однако в некоторых случаях её может быть вполне достаточно, чтобы обеспечить работу электрических схем. Будем рассматривать устройства, использующие, вероятно, самый перспективный источник энергии, присутствующий на борту летательного аппарата, – механическую вибрацию.

Одним из ведущих производителей вибрационных генераторов является американская компания «Mide Technology». Все представленные в её каталоге устройства основаны на пьезоэффекте и имеют относительно небольшие размеры и стоимость, однако они не рассчитаны на виброускорения более  $8g$  и не предназначены для эксплуатации при температурах свыше  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1]. Такие ограничения делают невозможным использование этих устройств в двигателях летательных аппаратов, где температура и виброускорения могут сильно превышать вышеуказанные уровни. Кроме того, пьезоэлектрические генераторы вообще имеют меньшую выходную мощность, в сравнении, например, с индукционными, которые также способны выдерживать и высокий уровень вибрации, и большие температуры, пусть даже при несколько больших размерах.

Интеграция генератора в корпус датчиков и устройств позволит избавиться от электрического питания от бортовой сети, проводов, а также преобразователей постоянных напряжений.

Целью настоящей статьи является составление математической модели индукционного генератора электрического питания. Он основан на законе электромагнитной индукции, в простейшем случае – на возникновении электрического тока в контуре при изменении пронизывающего его магнитного потока. В нашем случае изменение потока будет вызвано вибрацией чувствительного элемента – магнита.

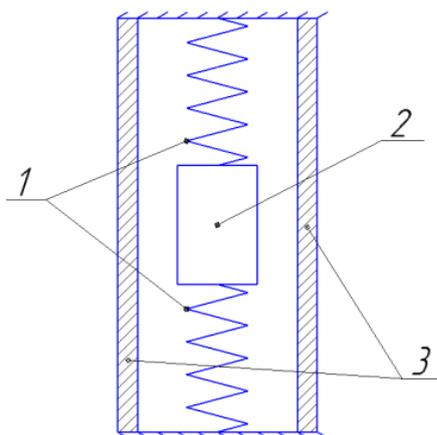


Рис. 1. Схематичное изображение индукционного генератора

Схематически (рис. 1) генератор представляет собой подвешенный с двух сторон на пружинах одинаковой жесткости 1 магнит 2, который имеет одну степень свободы. При возникновении внешней вибрации он приводится в движение, тем самым генерируя ток в катушке 3, внутри которой магнит колеблется. Величина возникающего в катушке ЭДС при условии однородности магнитного поля в пределах устройства определяется формулой:[2]

$$E_i = NIBV, \quad (1)$$

где  $E_i$  – ЭДС индукции;  $N$  – число витков катушки;  $l$  – длина одного витка;  $B$  – остаточная индукция магнита;  $V$  – скорость движения чувствительного элемента.

Предполагаем, что сила тяжести направлена вдоль линии движения груза, поэтому в положении равновесия пружина растянута на величину  $x_p$ , равную:

$$x_p = \frac{gm}{2k}, \quad (2)$$

где  $x_p$  – положение равновесия магнита;  $m$  – масса магнита;  $k$  – жесткость пружин.

Дифференциальное уравнение смещения магнита относительно положения равновесия при воздействии внешней вибрации определяется как: [3]

$$x'' + \frac{j}{m}x' + \frac{2k}{m}x = \sum_{q=1}^Q \frac{A_q}{m} \cos(\omega_q t), \quad (3)$$

где  $A_q$  – амплитуда силы  $q$ -й составляющей вибрации;  $\omega_q$  – частота силы  $q$ -й составляющей вибрации;  $Q$  – число составляющих вибрации;  $x$  – смещение магнита относительно положения равновесия;  $j$  – коэффициент демпфирования;  $t$  – время.

Нас интересует только установившийся режим работы, поэтому решим уравнение (3), исключив из рассмотрения общее решение. [4]

Частное решение будем искать в виде:

$$x = \sum_{q=1}^Q (E_q \cos(\omega_q t) + F_q \sin(\omega_q t)), \quad (4)$$

где  $E_q, F_q$  – неизвестные константы  $q$ -х параметров вибрации.

Отсюда:

$$x' = \sum_{q=1}^Q (-E_q \omega_q \sin(\omega_q t) + F_q \omega_q \cos(\omega_q t)); \quad (5)$$

$$x'' = \sum_{q=1}^Q (-E_q \omega_q^2 \cos(\omega_q t) - F_q \omega_q^2 \sin(\omega_q t)). \quad (6)$$

Подставим (4), (5) и (6) в уравнение (3) и приравняем коэффициенты при синусах и косинусах в левой и правой частях. После необходимых преобразований получим  $Q$  систем уравнений (7).

$$\begin{cases} \left(\frac{2k}{m} - \omega_q^2\right)E_q + \frac{j}{m}\omega_q F_q = \frac{A_q}{m} \\ \left(\frac{2k}{m} - \omega_q^2\right)F_q - \frac{j}{m}\omega_q E_q = 0 \end{cases}. \quad (7)$$

Решая систему (7) для каждой  $q$ , можно найти все неизвестные  $E_q$  и  $F_q$  и, как следствие, решить уравнение (3).

Моделирование рассматриваемого генератора в среде MATLAB/Simulink приведено на рис. 2, при этом использовались следующие данные:  $m = 1$  кг;  $k = 20$  Н/м;  $j = 1$  кг/с;  $A = 2$  Н;  $f = 0.5$  Гц;  $B = 0.4$  Тл;  $N = 100$ ;  $l = 0.1$  м. Схема реализует уравнения (1) и (3), где в качестве внешней вибрации выступает одна косинусоида с амплитудой  $A$  и частотой  $f$ , а начальное значение  $x$  соответствует положению равновесия (2).

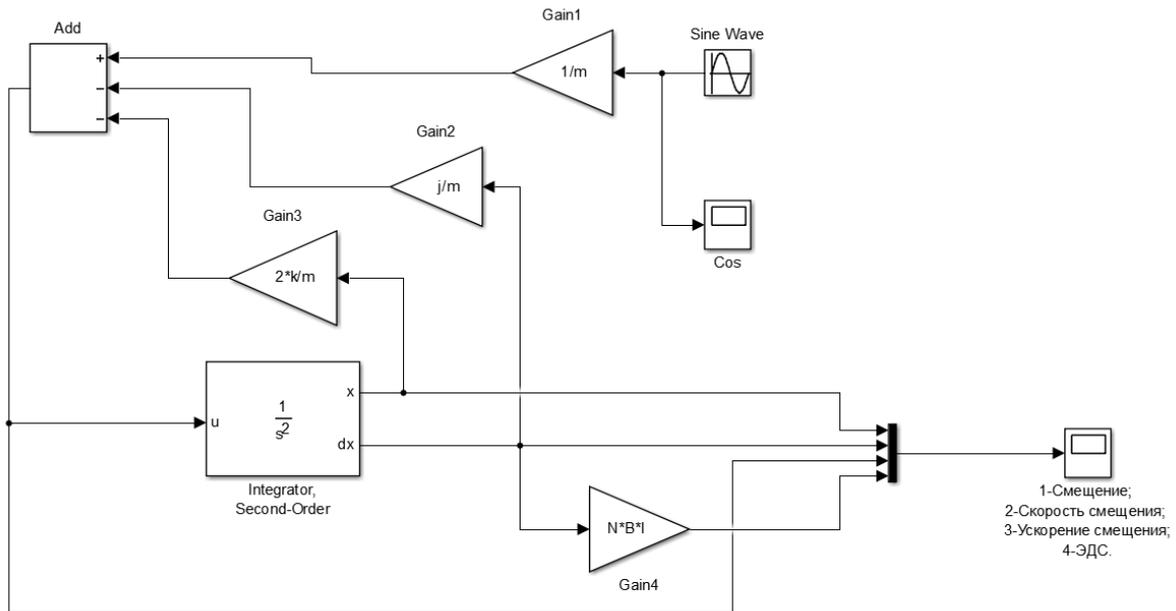


Рис. 2. Схема в MATLAB/Simulink

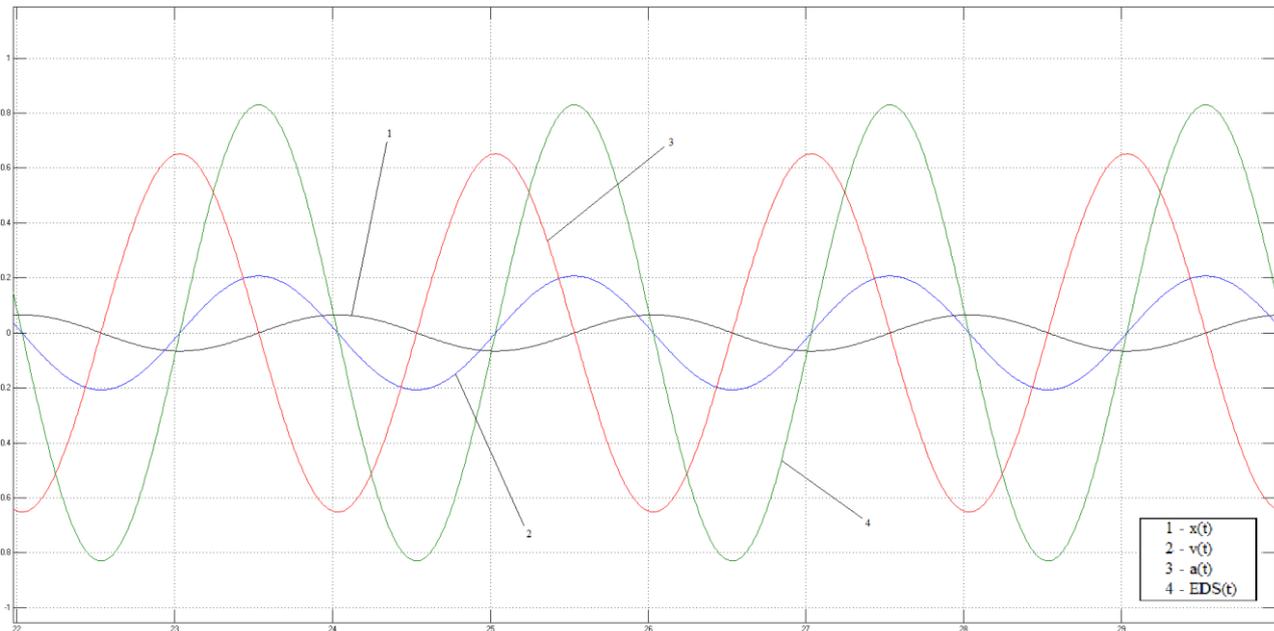


Рис. 3. Результат моделирования в MATLAB/Simulink

На рис. 3 представлены зависимости от времени установившихся значений смещения – 1, скорости смещения – 2, ускорения смещения – 3 чувствительного элемента относительно положения равновесия и выходного значения ЭДС – 4. На графике видны незатухающие колебания, обусловленные внешним воздействием вибрации.

Воспользуемся программной средой Mathcad для проверки соответствия представленного выше решения уравнения (3) результатам моделирования в MATLAB/Simulink (рис. 4).

Стоит отметить, что размерности по осям абсцисс и ординат на всех графиках в статье стандартные: время –  $c$ ; скорость –  $m/c$ ; ускорение –  $m/c^2$ ; ЭДС –  $B$ .

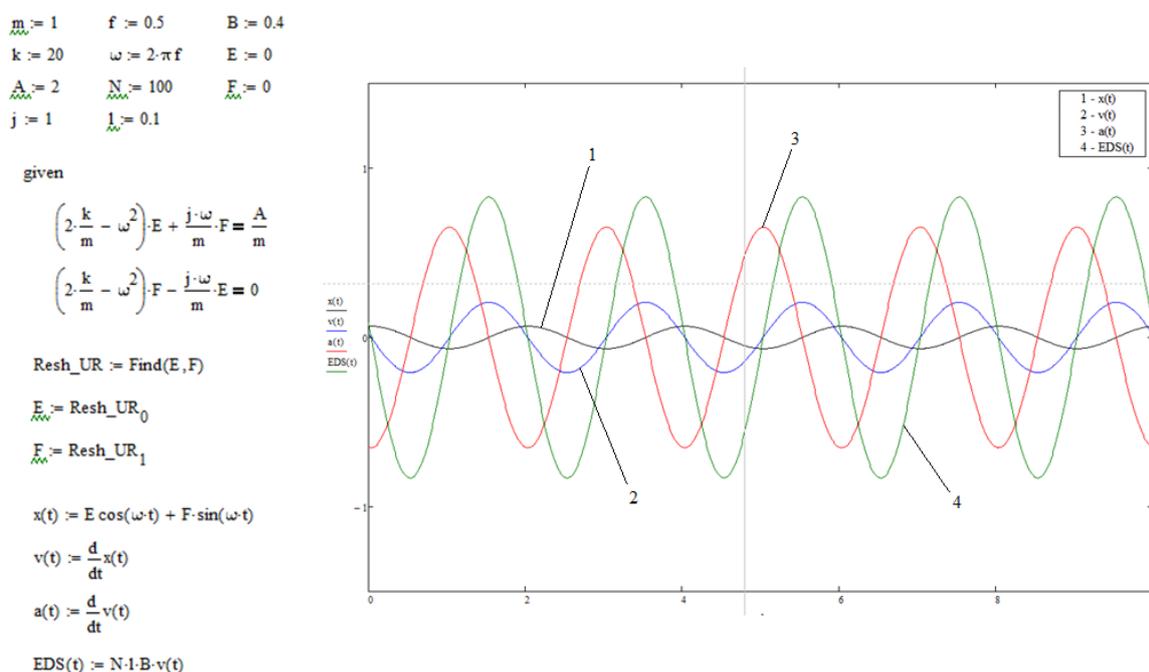


Рис. 4. Результаты проверки в Mathcad

Видно, что при тех же исходных данных и начальных условиях графики, полученные из модели в MATLAB/Simulink (рис. 3) и графики решения уравнения (3) в программной среде Mathcad (рис. 4) совпадают.

Резонансная частота определяется формулой [5]:

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\alpha^2}, \quad (8)$$

где  $\omega_p$  – резонансная частота;  $\omega_0$  – частота свободных колебаний;  $\alpha$  – коэффициент затухания.

Для рассматриваемой системы параметры  $\omega_0$  и  $\alpha$  определяются выражениями:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2k}{m}}; \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{j}{2m}. \quad (10)$$

Таким образом, зная частоты воздействующих на генератор внешних сил, можно оптимизировать его параметры так, чтобы получить максимальное выходное ЭДС, а преобразовать его из переменного в постоянное можно с помощью различных выпрямителей [6].

### Библиографический список

1. Piezoelectric Energy Harvesters. URL: <https://piezo.com/collections/piezoelectric-energy-harvesters> (дата обращения: 12.05.2019).
2. Формула ЭДС индукции. URL: <https://elquanta.ru/teoriya/formula-ehds-indukcii.html> (дата обращения: 12.05.2019).
3. Затухающие колебания. Декремент затухания. Логарифмический декремент затухания. Добротность. URL: [http://bog5.in.ua/lecture/vibration\\_lect/lect4\\_vibr.html](http://bog5.in.ua/lecture/vibration_lect/lect4_vibr.html) (дата обращения: 12.05.2019).
4. Гусак А. А. Математический анализ и дифференциальные уравнения. 3-е изд., стереотип. Минск.: ТетраСистемс, 2003. 416 с.
5. Колебательное движение. URL: <https://studfiles.net/preview/2672507/> (дата обращения: 12.05.2019).
6. Выпрямители тока. Принцип работы и схемы выпрямления электрического тока URL: <https://meanders.ru/vypryamitely.shtml> (дата обращения: 12.05.2019).

УДК 62.512

**П. С. Егорова**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Современный уровень развития космической техники характеризуется тенденцией к миниатюризации спутников различного назначения и увеличению количества их запусков. Достижения промышленности в последние позволяют теперь создавать малые космические аппараты (МКА) с относительно низкой стоимостью и малым временем подготовки, но с высоким уровнем функциональных параметров.

Для решения задач орбитального маневрирования МКА в их состав вводятся корректирующие двигательные установки (КДУ) с электрическими микродвигателями различной конструкции, включая аммиачные электротермические микродвигатели.

Создание реактивной тяги в электротермических микродвигателях осуществляется посредством подвода энергии к нагревательному элементу, размещенному в микродвигателе, прокачиванием рабочего тела вдоль «горячих» поверхностей микродвигателя, на которых происходит испарение и нагрев рабочего тела и выброс нагретого газа через реактивное сопло. Эффективность микродвигателя определяется величиной его удельной тяги, зависящей от величины нагрева газообразного топлива на входе в реактивное сопло [1].

Экспериментальные исследования аммиачных электротермических двигателей проводились в лабораториях Омского университета и АО «Технологии ГЕОСКАН» [2,3].

При создании системы ориентации и стабилизации (СОС) МКА обязательным этапом проектирования является этап оценки возмущающих воздействий на МКА как со стороны различных факторов космического пространства, так и со стороны различных систем МКА, включая КДУ. Из-за неидеальной установки ЭТМД, когда вектор тяги не проходит через центр масс МКА, при работе КДУ возникает постоянный по знаку возмущающий момент « $M_b$ » [4]. В случае МКА возмущающий момент от работы КДУ оказывается больше других внешних возмущающих моментов, что может сказаться на точностных характеристиках СОС. В связи с этим требуется проведение динамического моделирования совместной работы КДУ и СОС МКА. Для решения этой задачи с использованием пакета прикладных программ MATLAB/Simulink была разработана математическая модель взаимодействия КДУ с СОС, структурная схема которой отображена на рисунке.

Модель состоит из пяти подсистем – «Динамика КА1», «Динамика КА2», «Блок управления СО», «Блок разгрузки» и «Блок КДУ».

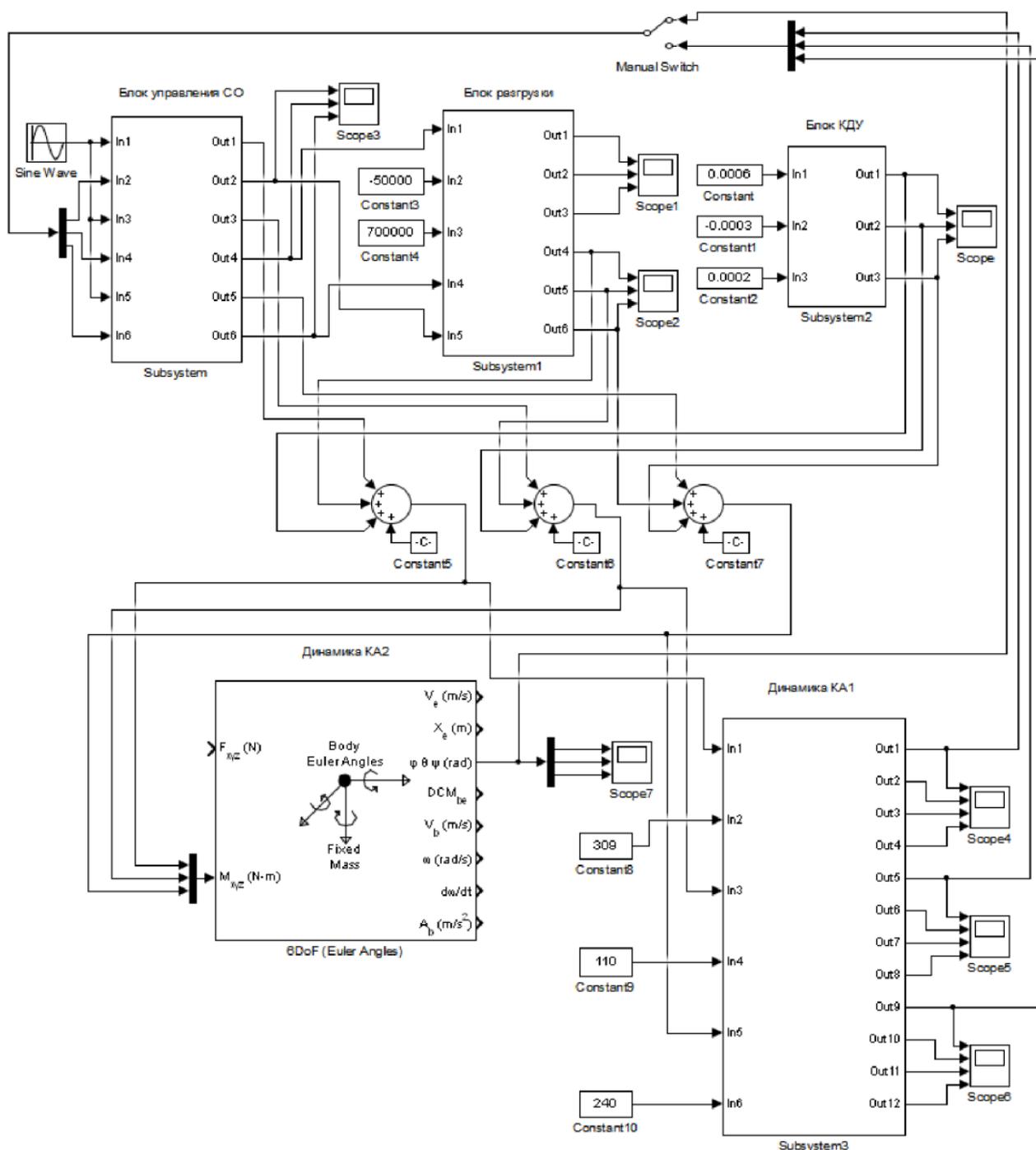
Моделирование проводится для трех каналов СОС МКА с различными моментно-инерционными характеристиками, находящегося на приполярной круговой орбите в режиме орбитальной ориентации. При использовании подсистемы «Динамика КА1» взаимное влияние каналов ориентации не учитывается. Для учета этого влияния, а также учета центробежных моментов инерции МКА, используется подсистема «Динамика КА2», которая является стандартным блоком библиотеки «AerospaceBlockset» пакета прикладных программ MATLAB/Simulink [5].

На входы подсистемы «Динамика КА1» подаются по каждому каналу ориентации суммарные механические моменты, включающие разгрузочный механический момент от электромагнитных устройств, возмущающий момент от КДУ и постоянную составляющую возмущающих моментов со стороны различных факторов космического пространства, а также моменты инерции МКА. С выходов подсистемы «Динамика КА1» в подсистему «Блок управления СО» поступают сигналы об углах поворота МКА относительно орбитальной системы координат (ОСК) по каналам X, Y и Z соответственно.

В подсистеме «Блок разгрузки» реализованы приближенная модель магнитного поля Земли (МПЗ) для приполярной круговой орбиты и закон формирования разгрузочных магнитных моментов электромагнитов. Проекция вектора индукции  $B$  МПЗ для данной орбиты на оси принятой орбитальной системы координат равны [6]:

$$\begin{bmatrix} B_{x0} \\ B_{z0} \end{bmatrix} = m_0 \frac{M_e}{4\pi R^3} \begin{bmatrix} \cos(u) \\ -2\sin(u) \end{bmatrix}$$

где  $m_0$  – магнитная постоянная;  $M_e$  – магнитный момент Земли;  $R$  – радиус-вектор орбиты;  $u$  – аргумент широты.



Структурная схема математической модели взаимодействия КДУ и СОС

Исходными данными для расчета МПЗ является высота орбиты от поверхности Земли, которая задается источником постоянного сигнала «Constant4».

Для формирования разгрузочных магнитных моментов используется общепринятый закон управления [7], который будет иметь вид

$$L_x = K_m B_z H_y$$

$$L_y = K_m B_x H_z - B_z H_x$$

$$L_z = -K_m B_x H_y$$

где  $L_x, L_y$  и  $L_z$  – магнитные моменты электромагнитов, установленных в каналах  $X, Y$  и  $Z$  соответственно;  $K_m$  – коэффициент пропорциональности в законе управления.

В модели в каждом канале присутствуют блоки, имитирующие задержку реализации закона управления электромагнитами в БЦВМ (блоки «TransportDelay»), квантование сигнала управления (блоки «Quantizer») ограничение магнитных моментов электромагнитов (блоки «Saturation»).

Взаимодействуя с моделью МПЗ, магнитные моменты электромагнитов создают разгрузочные механические моменты, которые имеют вид

$$M_{mx} = L_y B_z$$

$$M_{my} = L_z B_x - L_x B_z$$

$$M_{mz} = -L_y B_x$$

где  $M_{mx}, M_{my}$  и  $M_{mz}$  – разгрузочные механические моменты в каналах  $X, Y$  и  $Z$  соответственно.

На выходах подсистемы «Блок КДУ» формируются возмущающие моменты от КДУ, величины которых задаются источниками постоянного сигнала.

Все требуемые исходные данные в математической модели взаимодействия КДУ с СОС по коэффициентам передачи и пропорциональности, задержкам, уровням квантования, ограничениям, времени включения и длительности работы КДУ перед моделированием задаются через окна модификации параметров блоков подсистем модели.

Созданная модель взаимодействия КДУ с системой ориентации МКА может быть использована для оценки погрешности ориентации КА при работе КДУ и запаса по кинетическому моменту УДМ системы ориентации, а также для выбора параметров контуров управления ориентацией МКА и разгрузки управляющих двигателей-маховиков.

### Библиографический список

1. Пат. 2442011 РФ, МПК F02K 9/68, заявка 2010127372/06, 02.07.2010. Электротермический двигатель / Блинов В. Н. (Россия), Иванов Н. Н. (Россия), Косицын В. В. (Россия), Рубан В. И. (Россия).
2. АО «Технологии ГЕОСКАН». URL: <http://geoscan.org> (дата обращения: 01.03.2019).
3. Омский государственный технологический университет. URL: <https://www.omg.ru> (дата обращения: 01.03.2019).
4. Раушенбах Б. В., Токарь Е. Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1974.
5. Дьяков В. П. Simulink 5/6/7. М.: ДМК-Пресс, 2008.
6. Коваленко А. П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1975.
7. Лобусов Е. С., Фомичев А. В. Разработка и исследование математико-алгоритмического обеспечения для системы управления ориентацией наноспутника. Актуальные проблемы космонавтики: Труды XXXIX академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. С. 408–409.

## УДК 062.1

**А. С. Журавлев**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА  
СРЕДСТВАМИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В последнее время в аэрокосмической отрасли наблюдается большой интерес к созданию и использованию малых космических аппаратов – адекватной замене больших аппаратов. Ракета-носитель даже легкого класса способна вывести на орбиту несколько так называемых малых космических аппаратов. Основными характеристиками, выгодно отличающими малые аппараты от прочих космических аппаратов, являются малая масса и сниженное энергопотребление.

В процессе эксплуатации космические аппараты подвергаются воздействию различных внешних и внутренних факторов. При выведении на орбиту космического аппарата, существенное влияние на него оказывают механические факторы, формирующие напряженно-деформированное состояние силовых элементов конструкций малых космических аппаратов, которые при их пиковых значениях способны привести даже к разрушению космического аппарата. На сегодняшний день МС твердо ассоциируются с термином англоязычного происхождения «CubeSat».

Масса предлагаемой конструкции была рассчитана для соответствия требованиям массы конструкции пикосателлитной структуры как подсистемы с массой менее 30% от общей расчетной массы аппарата, чья масса не должна превышать 1,33 кг. Каркас смоделирован так, чтобы нести встроенную электронику, при этом не перенося значительную нагрузку на хрупкую электронику, которая входит в состав различных подсистем.

Структура модульной рамы изначально геометрически идеализирована и смоделирована, за исключением соединений и соединителей с использованием SolidWorks. Упрощенная модель оптимизирована для получения соответствующего размера деталей корпуса, которые могут выдерживать внутренние и внешние пусковые нагрузки при сохранении минимального веса. В результате оптимальная конструкция, сгенерированная после прохождения 38 итераций исследования конструкции, показана на рис. 1. Была достигнута минимальная масса 51,5 грамма (изначально 71).

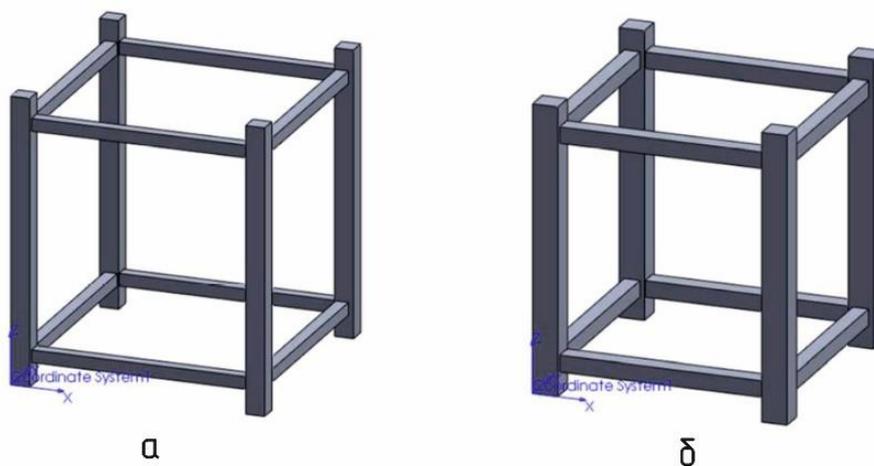


Рис. 1. Вариации основной конструкции:

- а) Оптимизированная модель каркаса после запуска OptimizationDesignStudy;  
б) Исходная модель

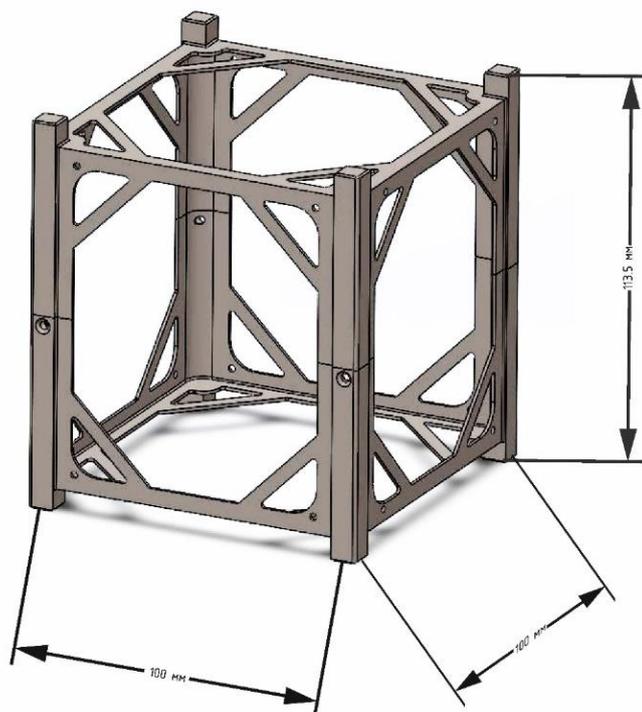


Рис. 2. Несущая конструкция спутника (Силовой каркас)

Этап сборки объединяет все разработанные элементы в единое целое. Первый этап: все модули вставляются в каркас в соответствующие пазы, после чего закрываются боковой стенкой и закрепляются 4 болтами. Следующим этапом сборки является этап крепления солнечных панелей на поверхности разработанного спутника. Каждая солнечная панель крепится на 4 болта. Такой крепеж сделан для достижения большей прочности и устойчивости конструкции, что достижимо за счет уменьшения количества крепежных отверстий. Таким образом, на данном этапе получена подробная 3D-модель пикоспутника.

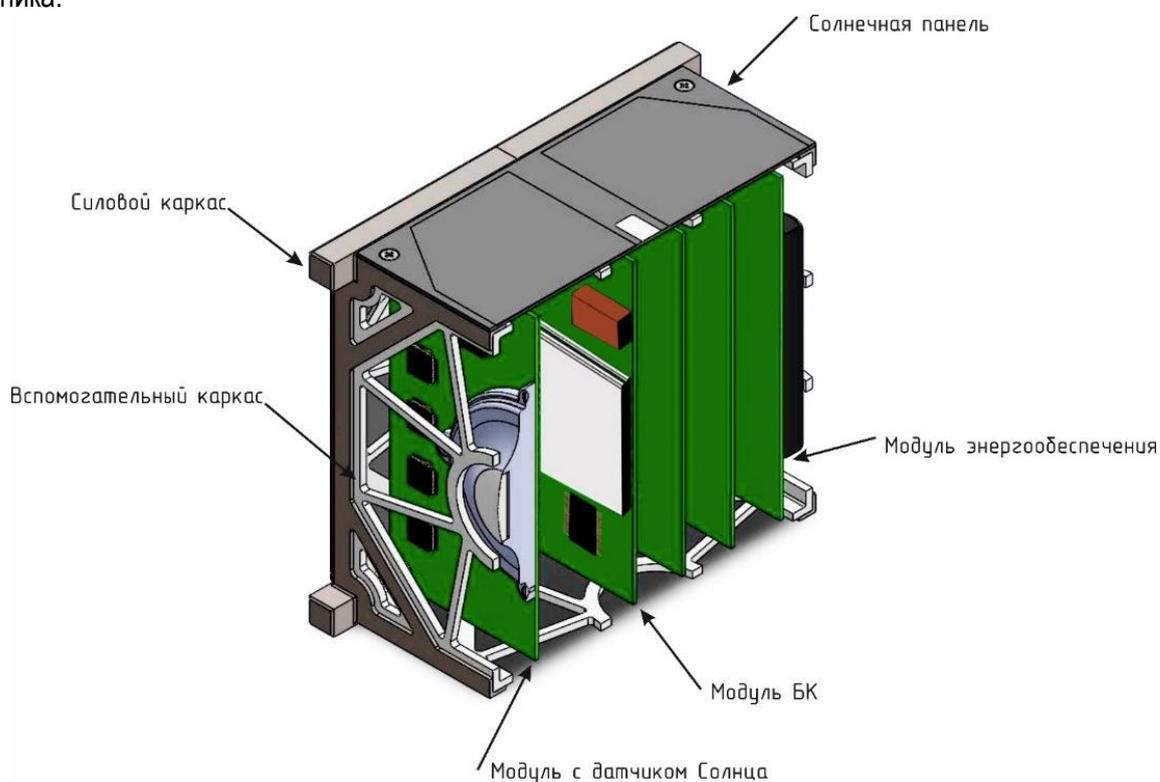


Рис. 3. Собранный пикоспутник. Вид в разрезе

Каркас пикоспутника рассмотрен на выдерживание (в одиночку) больших перегрузки внешних сил. Максимальное значение критерия текучести фон Мизеса (условие пластичности Мизеса) составило  $134,34 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  и имеет место в отверстии для винта, показанном на рисунке слева. Это значение составляет до 48,85% от предела текучести, что дает коэффициент безопасности 2,05.

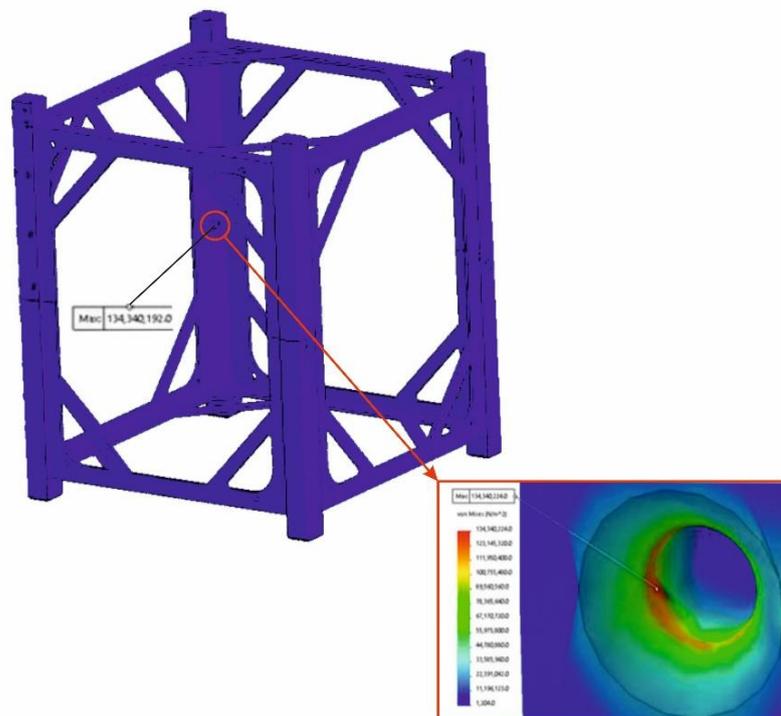


Рис. 4. Максимальное статическое узловое напряжение в каркасе.

Также стоит отметить, что максимальное результирующее смещение составило  $6,028 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ , что намного меньше 1 мм, и произошло оно в точке нагрузки, как показано на рисунке справа. Таким образом, общая деформация каркаса вследствие статической нагрузки очень незначительна.

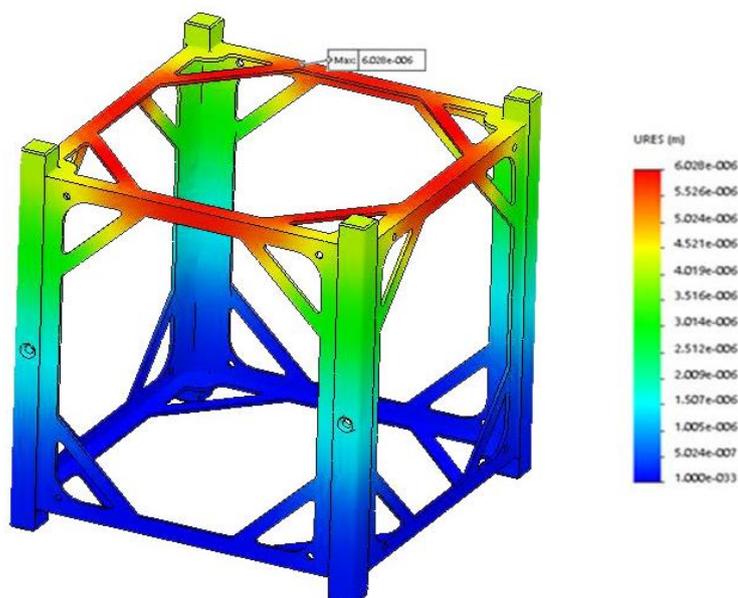


Рис. 5. Максимальное результирующее смещение каркаса

На данном этапе имеется точная трехмерная компьютерная модель проектируемого устройства. Поскольку в трехмерных моделях содержится намного больше информации, необходимой для инженера, чем в классических двумерных чертежах, еще одним важным преимуществом моделирования является возможность использования результатов проделанного моделирования на последующих

стадиях. Созданием первоначального образца конструкции преимущества трехмерного моделирования не исчерпываются (в 3D-модель крайне удобно вносить изменения, чертежи не нужно формировать с нуля, достаточно лишь обновить).

#### **Библиографический список**

1. Беленький А. Д., Васильев В. Н., Гриневич Д. В., Канунникова Е. А. Новые возможности создания динамической модели управляемого космического аппарата с учетом упругих свойств и изменчивости конструкции. // Вопросы электромеханики. ОАО «Корпорация ВНИИЭМ». 2012. Т. 127.
2. Иванов А. А. MSC. Adams: Теория и элементы виртуального конструирования и моделирования. М., 2003. 97 с.
3. Даниев Ю. В. Космические летательные аппараты. Введение в космическую технику / под общ. ред. А. Н. Петренко. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. 456 с.

УДК 629.7.054

**Н. А. Коган**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Г. Никитин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЭМС-ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

В ракетно-космической и авиационной отрасли постоянно растут потребности, что обуславливает потребность в новых датчиках давления с улучшенными качественными и эксплуатационными показателями. В значительной мере эти потребности обеспечиваются датчиками давления на основе полупроводниковых микроэлектромеханических систем (МЭМС). Достоинствами таких датчиков являются высокая чувствительность, малые габариты, невысокая стоимость, возможность крупносерийного производства.

Далее будет рассматриваться повышение точности микромеханических датчиков давления (МДД) без применения внешних средств обработки информации.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Методы выявления и оценки погрешностей можно разделить на аналитические (теоретические) и экспериментальные.

Аналитические методы выявления и оценки погрешностей базируются на функциональном анализе методики выполнения измерений. Применению методов выявления и оценки погрешностей обычно предшествует гипотеза о наличии погрешностей от того или иного источника, включая:

- инструментальные погрешности,
- методические погрешности,
- погрешности из-за отличия условий от нормальных
- субъективные погрешности [2].

Аналитические методы чаще всего используют для расчета инструментальных и методических составляющих погрешностей, а также погрешностей из-за несоответствия условий измерений нормальным.

К инструментальным погрешностям относят все погрешности средств измерений и вспомогательных устройств: погрешности прибора, погрешности используемых для его настройки мер, погрешности устройств базирования приборов для линейно-угловых измерений, соединительных проводов для подключения электроизмерительных приборов и т.д. Аналитические расчеты средств измерений на точность проводятся для оценки их теоретических погрешностей и допустимых технологических погрешностей изготовления и сборки деталей, что является обязательными составными частями проектирования.

Погрешности из-за несоблюдения нормальных условий измерений вызваны воздействием на измеряемый объект и средства измерений любой влияющей физической величины, выходящей за пределы области нормированных значений. Температурные, электромагнитные и другие поля, атмосферное давление, избыточная влажность, наличие вибраций и множество других факторов могут привести к искажению измеряемой величины и/или измерительной информации о ней.

Для оценки погрешности "условий" в общем случае следует учитывать воздействие влияющих величин и на средства измерений, и на измеряемые объекты. Для расчета воздействия влияющей величины на результат измерения нужно знать функцию изменения измеряемой физической величины и/или сигнала средства измерений при изменении аргумента (влияющей величины) и значение аргумента.

Существуют различные методы повышения точности: Методы с обратной связью, калибровка, комплексирование, фильтрация и др.

Далее будет рассмотрен метод повышения точности с помощью комплексирования ЧЭ.

Для дальнейших действий были разработаны структурные схемы, приведённые на рис. 1 и рис. 2.

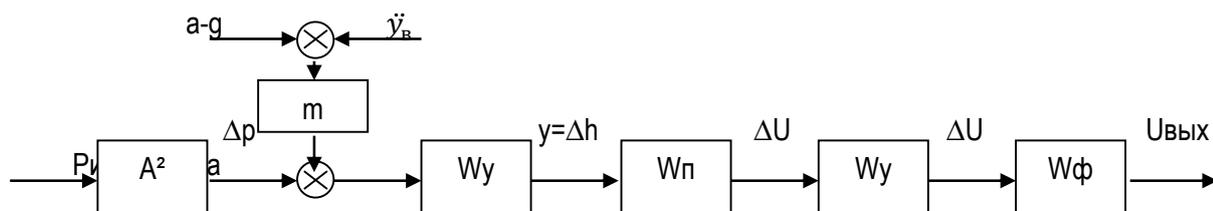


Рис. 1. Схема измерительной цепи МДД с мембраной одинаковой толщины:

$A^2$  – площадь квадратной пластины;  $m$  – масса жесткого центра;  $W_y$  – передаточная функция пластины;  $W_{п}$  – передаточная функция преобразователя;  $W_{ф}$  – передаточная функция фильтра;  $W_{ос}$  – передаточная функция обратной связи.

ЧЭ датчиков давления, т.е. мембраны бывают симметричные, ассиметричные. Так же они бывают одинаковой толщины и с жестким центром.

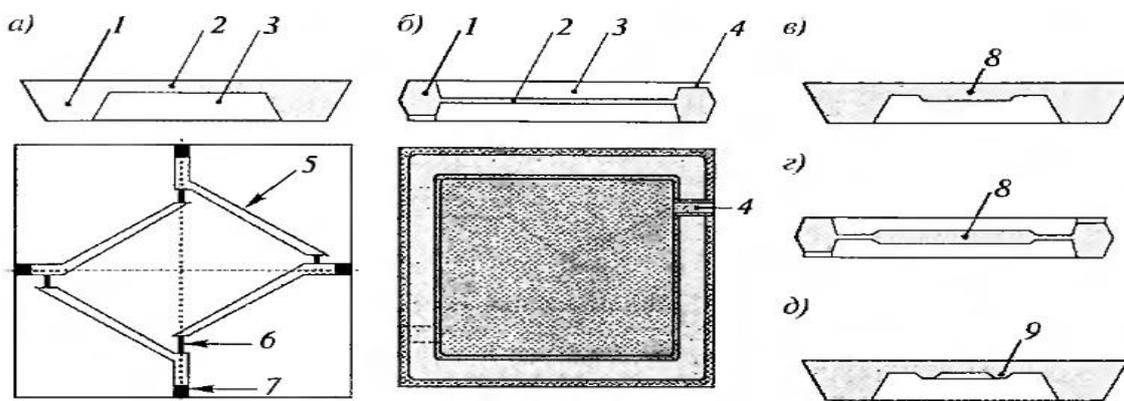


Рис. 2. Варианты ЧЭ датчиков давления [3]:

а – ассиметричная мембрана; в и г – мембрана с жестким центром; д – двойная мембрана с жестким кольцом; 1 – корпусная пластина; 2 – мембрана с жестким заделкой по контуру; 3 – подмембранная камера; 4 – каналы подвода давлений; 5 – проводящая дорожка; 6 – интегральный тензорезистор; 7 – контактная площадка; 8 – жесткий центр; 9 – жесткое кольцо

Недостатком применения жесткого центра, является то, что датчик давления становится чувствительным к линейному и угловому ускорениям. Это показывает, что менее чувствительной к погрешности является модель датчика, у которого чувствительный элемент является мембрана одинаковой толщины.

Рассматривается тензорезистивный преобразователь:

Для устранения нелинейности тензорезисторов при создании полных мостовых схем обычно применяют следующие способы:

- Включение одинаковых тензорезисторов из смежных плеч на деформации, равные по модулю, но имеющие разные знаки, т.е. одного тензорезистора на растяжение, другого – на сжатие;
- Включение тензорезисторов на один вид деформации, при котором тензорезисторы п- и р- типов с одинаковой концентрацией примесей включены в противоположные плечи моста.

Воздействие любой составляющей в выходном сигнале, являющуюся следствием внешних или внутренних помех можно назвать шумом. Так при измерениях в условиях вибрации возникает составляющая, которую можно назвать вибрационным шумом, броуновский шум возникает при столкновении между молекулами газа, что тоже является шумом (тепловым) [2].

Любые электронные средства и т.д. являются источниками шума, с различной физической природой. Шумовой спектр сигнала равен спектру шума на входе, умноженному на частотную характеристику системы.

Далее приведен пример повышения точности с помощью комплексирования:

Расчет ЧЭ:

Пусть  $c_{\pi} = 10^{-4}$  м;  $A = 1 \cdot 10^{-2}$  м;  $\Delta p = 85$  кПа;  $D = 0,016$  Н/м

Тогда:

$\omega_{\max} = 5,02 \cdot 10^{-8}$  м

$G_y = 0,192 \cdot 10^7$  Н/м

$f = 22,47 \cdot 10^4$  Гц

Исходные данные:

Сторона мембраны  $1 \cdot 10^{-2}$  м

Жесткость мембраны  $0,192 \cdot 10^7$  Н/м

Толщина мембраны  $10^{-4}$  м

Цилиндрическая жесткость пластины  $0,016$  Н\*м

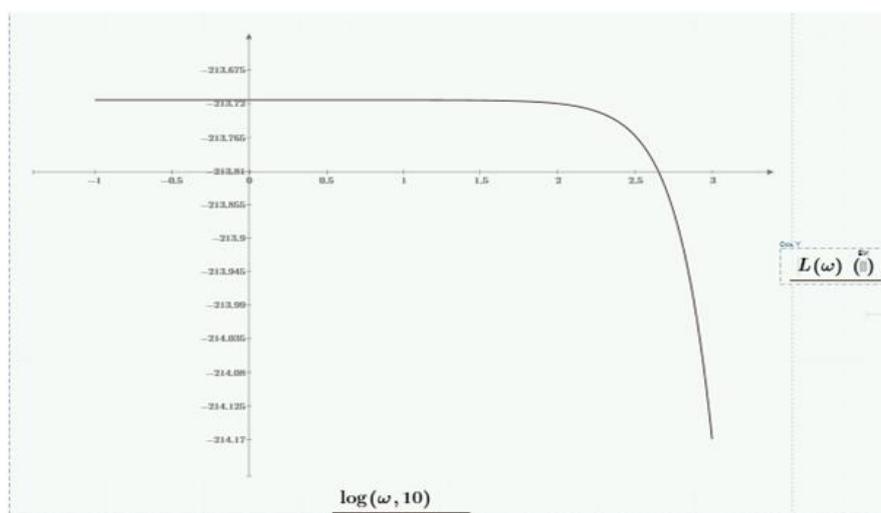


Рис. 3. АЧХ чувствительного элемента

С помощью пакета Matlab была разработана математическая модель:

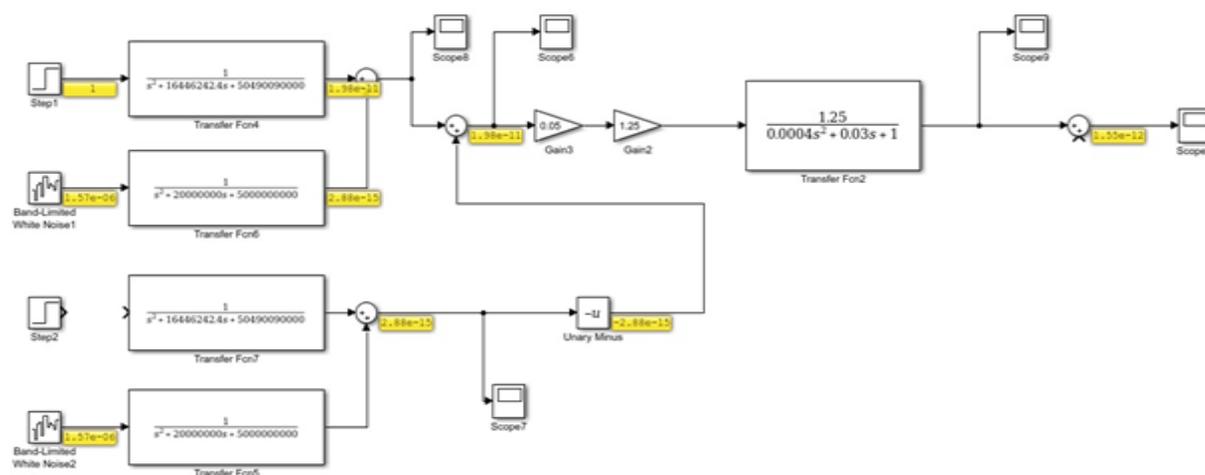
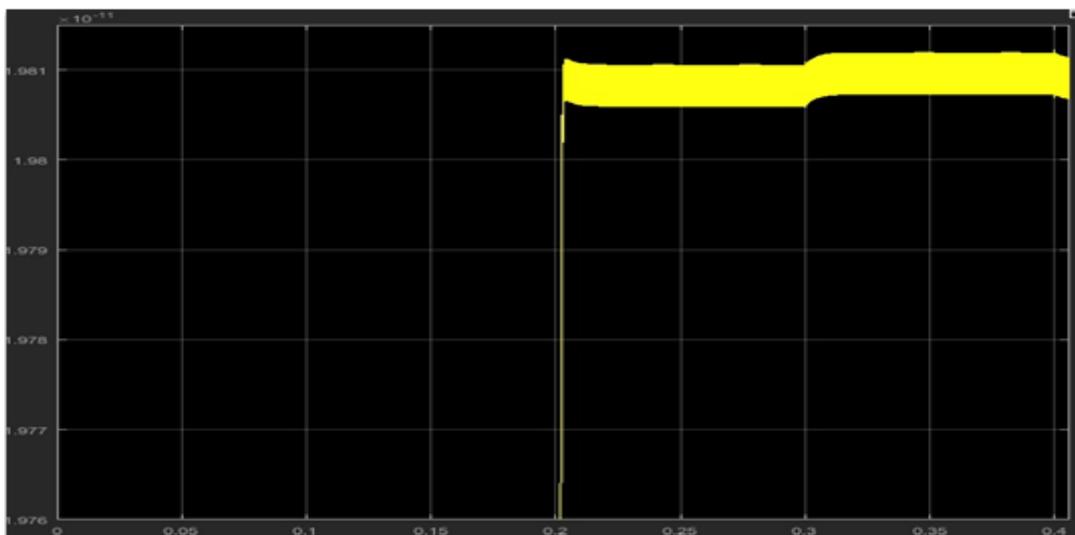
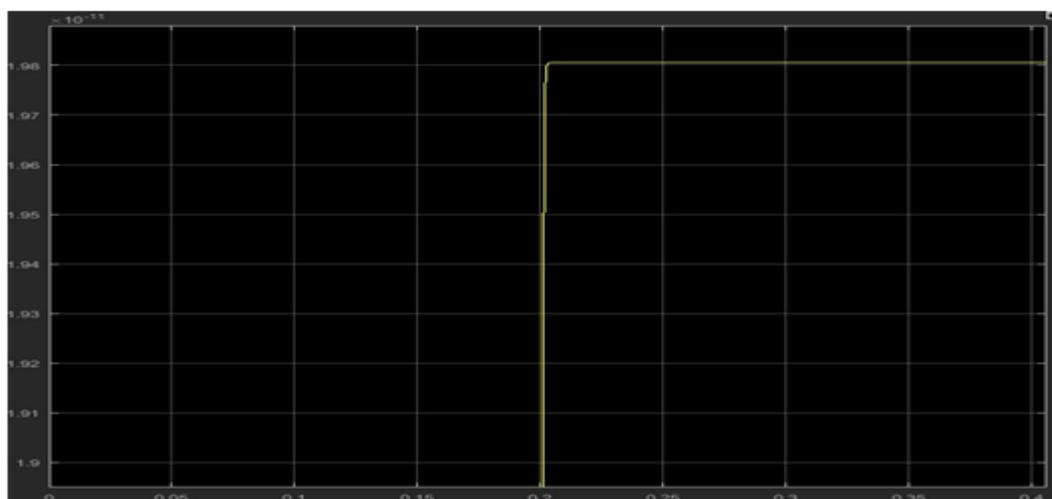


Рис. 4. Математическая модель МДД



*Рис. 5. Показания со Score8. Без комплексирования*

На рис. 5 показан сигнал с ЧЭ, на который подан полезный сигнал и БШ.



*Рис. 6. Показания со Score6*

На рис. 6 показан сигнал после комплексирования.

В результате моделирования мы показали, что комплексирование является действенным способом повышения точности МДД с жестким центром без применения внешних средств обработки информации.

### Библиографический список

1. Петропавловский Ю. Инерциальные приборы и МЭМС микросхемы компании Analog Devices для систем автоматики, навигации и автомобильной электроники // РадиоЛоцман, 2017. 40 с.
2. Дао Ван Ба. Динамический метод исследования погрешностей триады акселерометров / дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.03: защищена 22.01.15: утв. 15.07.14 / Дао Ван Ба. СПб., 2015. 113 с.
3. Распопов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.

УДК 629.058

**О. С. Кондратьева**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Ю. П. Иванов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ**

В настоящее время повышение уровня безопасности полёта летательного аппарата является актуальной задачей. Для этого используются различные математические алгоритмы, в том числе и прогнозирующие, которые помимо авиации используются в различных областях.

В статье рассматриваются оптимальные алгоритмы дискретной фильтрации и прогноза навигационных параметров на примере оценки высоты полета летательного аппарата. Алгоритмы фильтрации и прогноза высоты полета летательного аппарата основываются на использовании финитно-временного метода оценки сигналов [1] и фильтрации Калмана. В качестве критериев оценки качества используются дисперсии ошибки оценки.

В исследуемой системе для оценки навигационной координаты используется радиотехнический высотомер.

В работе рассматривается линейная модель измерения с аддитивной погрешностью. Моделями измеряемого сигнала  $X_i$  и погрешности  $H_i$  измерителя являются нормальные стационарные эргодические процессы некоррелированные между собой. На входе фильтра результат измерения определяется соотношением:

$$Y_i = X_i + H_i,$$

где  $i = 1 \dots N$ ,  $N$  – объём используемой выборки для прогноза сигналов,  $Y_i$ ,  $X_i$ ,  $H_i$  – соответственно скалярные результаты измерения, полезного сигнала и погрешности измерения.

В качестве корреляционной характеристики оцениваемого сигнала выбирается следующая функция:

$$K_{X_{i,j}} = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha \cdot |i-j| \cdot d},$$

где  $i, j = 1 \dots N$ ,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение полезного сигнала,  $\alpha$  – параметр корреляционной функции,  $d$  – дискрет.

Как известно, случайный нормальный процесс с данной корреляционной функцией является марковским процессом [2].

Моделью погрешности радиотехнического высотомера является белый шум, корреляционная функция которого определяется выражением:

$$K_{H_{i,j}} = \sigma_H^2 \cdot \delta_{i,j},$$

где  $i, j = 1 \dots N$ ,  $\sigma_H$  – среднеквадратическое отклонение белого шума,  $\delta_{i,j}$  – дельта-функция.

Как известно [1], использование финитно-временной обработки для фильтрации и прогнозирования сигналов значительно упрощает алгоритмы обработки сигналов. При этом позволяет применять единые алгоритмы обработки как в случае наличия коррелированных, так и некоррелированных погрешностей измерения, обеспечивает более устойчивую работу, повышает устойчивость работы алгоритмов относительно фильтрации Калмана.

Алгоритм прогнозирования сигналов на основе финитно-временного фильтра базируется на следствии теоремы ортогонального проецирования Пугачева [3] и в случае некоррелированности сигнала и помехи определяется следующей матрицей преобразования наблюдаемого сигнала:

$$A^* = K_{X_{пр}}(i \cdot d + pr \cdot d) \cdot K_Y(i \cdot d)^{-1},$$

где  $A^*$  – оптимальная по критерию среднего квадрата ошибки оценки матрица,  $K_{X_{пр}}$  – матрица корреляционных моментов полезного сигнала,  $K_Y$  – матрица корреляционных моментов результата измере-

ния. Размерности рассматриваемых матриц  $r \times r$ , где  $r$  – память финитно-временного фильтра,  $pr$  – время прогноза сигнала на скользящем интервале времени.

Матрица корреляционных моментов результата измерения размерностью  $r \times r$  равна:

$$\mathbf{K}_Y = \mathbf{K}_X + \mathbf{K}_H.$$

Измеряемый сигнал  $Y_i$  в случае дискретной обработки образуется в виде следующего вектора  $\mathbf{Y}_{1i}$  размерностью  $r \times 1$  за счет использования предыдущих результатов измерений к моменту времени  $i$ :

$$\mathbf{Y}_{1i} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_{i-1} \\ \dots \\ Y_{i-r+1} \end{bmatrix},$$

Оптимальная оценка прогноза сигнала определена по формуле:

$$\hat{X}_{\text{пр } i}^* = \mathbf{A}^* \cdot \mathbf{Y}_{1i}.$$

В случае если интервал времени прогноза сигнала  $pr = 0$ , то  $\hat{X}_{\text{пр } i}^*$  будет являться оценкой фильтрации сигнала в момент времени  $i$ .

Оценка точности фильтрации и прогноза на выбранный интервал времени для произвольного вида оценок финитно-временного метода прогнозирования равна:

$$D_{\text{Епр}}^* = \mathbf{K}_{\hat{X}}^* - \mathbf{K}_X \cdot \mathbf{A}^{*T} - \mathbf{A}^* \cdot \mathbf{K}_X^T + \mathbf{K}_X,$$

где  $\mathbf{K}_{\hat{X}}^*$  – матрица корреляционных моментов оптимальных оценок, определяемая следующим выражением:

$$\mathbf{K}_{\hat{X}}^* = \mathbf{A}^* \cdot \mathbf{K}_Y \cdot \mathbf{A}^*.$$

Оптимальная оценка точности фильтрации и прогноза после окончания переходного процесса также можно представить в следующем виде:

$$D_{\text{Еopt}}^* = \mathbf{K}_X - \mathbf{K}_{\hat{X}}^*.$$

Статистическая оценка математического ожидания ошибки оценки определяется по формуле [4]:

$$M_{Ei} = M_{Ei-1} + \frac{1}{i-1} \cdot (E_i^* - M_{Ei-1}),$$

где  $E_i^* = \hat{X}_i^* - X_i$  – ошибка оптимальной оценки.

Статистическая оценка дисперсии ошибки оптимальной оценки  $D_{Ei}^*$  фильтрации и прогноза в случае наблюдаемых стационарных процессов вычисляется по следующему выражению:

$$D_{Ei}^* = D_{Ei-1}^* + \frac{1}{i-1} \cdot \left( (E_i^* - M_{Ei-1})^2 - D_{Ei-1}^* \right).$$

Статистическая дисперсия ошибки оценки  $D_{Ei}^*$  после окончания переходного процесса совпадает с теоретическими дисперсиями. Оценка времени адаптации финитно-временного алгоритма можно получить путем сравнения значений дисперсий  $D_{\text{Епр}}$  и  $D_{\text{Еopt}}^*$  при выбранном значении их разности.

Определение оптимальной оценки дискретного фильтра Калмана [4] осуществляется на основании теоремы Дуба [3], где оптимальный прогноз определяется условным математическим ожиданием:

$$\hat{X}^*(t+T) = M[X(t+T)/Y(t)],$$

где  $\hat{X}^*$  – оптимальная оценка сигнала,  $X, Y$  – соответственно оцениваемый и наблюдаемый сигналы.

Анализ рассматриваемых алгоритмов прогноза сигнала в случае полной априорной неопределенности и адаптивной оценки матрицы корреляционных моментов полезного сигнала осуществлен при следующих исходных данных:

- объем выборки  $N = 5000$ ;
- среднеквадратическое отклонение полезного сигнала  $\sigma = 20$  м;
- среднеквадратическое отклонение погрешности радиовысотомера  $\sigma_H = 5$  м;
- память финитно-временной обработки  $r = 5$ ;
- интервал времени прогноза сигнала  $pr = 20$  с;
- параметр корреляционной функции  $\alpha = 0,01$  1/с;
- дискрет  $d = 5$  с. Как известно, по теореме Котельникова дискрет не должен превышать значе-

ния:

$$d < \frac{\pi}{\alpha \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - 0,05 \cdot \frac{\pi}{2}\right)}$$

Сравнительные результаты моделирования для исследуемых алгоритмах приведены на следующих графиках:

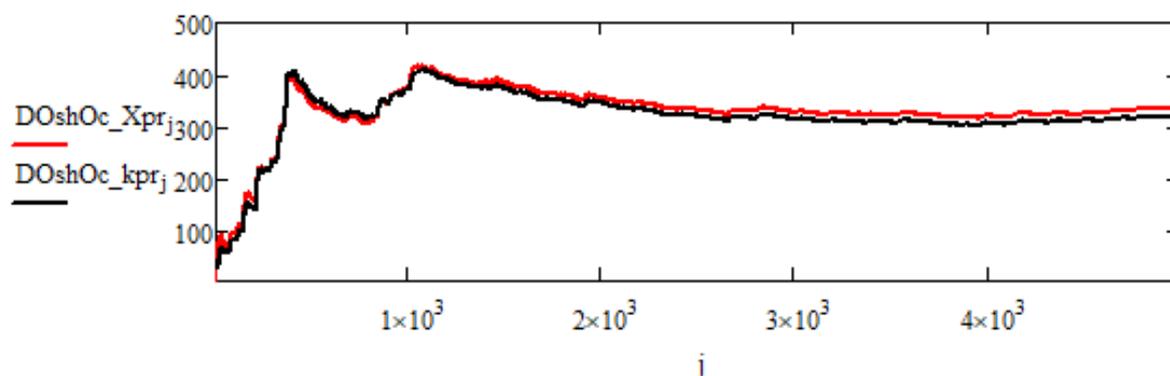


Рис. 1. Изменение дисперсии ошибок оценок финитно-временного прогноза на текущем интервале времени  $r \cdot d$  ( $DOshOc\_Xpr$ ) и прогноза фильтра Калмана ( $DOshOc\_kpr$ ) от дискретного времени  $i$

В таблице приведены значения дисперсий ошибок оценок рассмотренных алгоритмов прогнозирования на момент окончания наблюдения  $N$ .

Таблица

	Финитно-временной метод	Фильтр Калмана
Значение дисперсии ошибки оценки прогноза на текущий интервал времени	330,481	312,349

По данным рис. 1 и таблицы можно сказать, что финитно-временная обработка незначительно уступает по точности методу Калмана при выбранных исходных данных. При увеличении памяти финитно-временного алгоритма его точность прогноза будет приближаться к фильтрации Калмана.

По результатам проведенного моделирования была сделана сравнительная оценка методов обработки на робастность и помехозащищенность исследуемых алгоритмов. Диапазоны изменения данных:  $r = 2...4$ ,  $\sigma = 4...40$ .

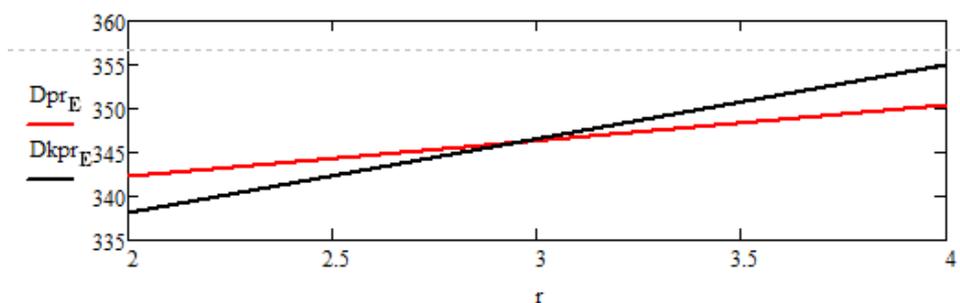


Рис. 2. Изменение дисперсии ошибки оценки финитно-временного прогноза ( $Dpr_E$ ) и прогноза фильтра Калмана ( $Dkpr_E$ ) от изменения параметра  $r$

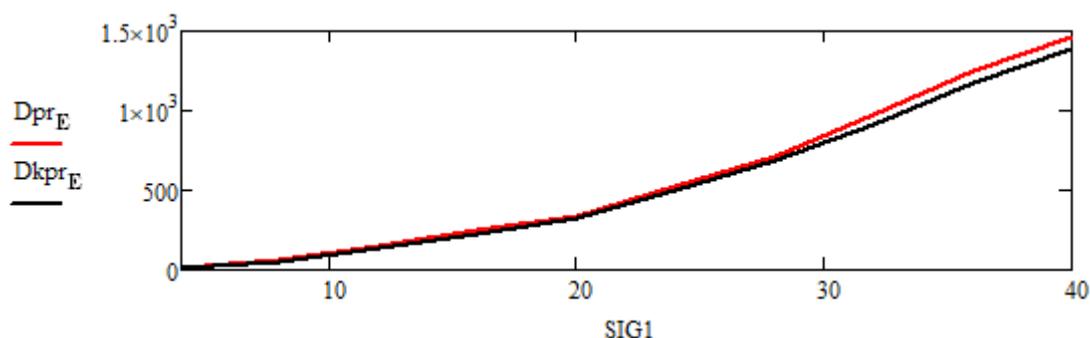


Рис. 3. Изменение дисперсии ошибки оценки финитно-временного прогноза ( $Dpr_E$ ) и прогноза фильтра Калмана ( $Dkpr_E$ ) от изменения параметра  $\sigma$

В результате проделанной работы было показано, что финитно-временная обработка незначительно уступает по точности методу Калмана при выбранной памяти, при увеличении которой прогноз финитно-временной фильтрации по точности асимптотически стремится к прогнозу фильтра Калмана. Финитно-временная обработка является более универсальной по сравнению с фильтром Калмана.

### Библиографический список

1. Иванов Ю. П. Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 5. С. 23–27.
2. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.
3. Иванов Ю. П., Никитин В. Г. Информационно-статистическая теория измерений. СПб.: ГУАП, 2011. 104 с.
4. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. М.: Энергия, 1973. 440 с.

УДК 681.5.015.42

**А. А. Кузнецов**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Ю. П. Иванов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИНИТНО-ВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И БЕЗ НЕЕ**

Современные алгоритмы линейной и квазилинейной оптимальной оценки сигналов, как правило, основаны на методах Калмановской фильтрации. Данные методы обладают рядом недостатков [1]:

- требование рекуррентной обработки сигналов, основанное на свойстве марковости полезного сигнала;

- достаточно большой объем исходной информации;

- отсутствие универсальности алгоритмов оценки при использовании разных моделей помех;

- необходимость вычисления нелинейного уравнения Риккати.

Рассматриваемые линейные оптимальные дискретные алгоритмы оценки сигналов на финитном интервале времени обладают универсальностью при обработке сигналов и требуют меньшего объема исходной информации. Поэтому в работе проводится исследование и моделирование указанных алгоритмов.

Для описания полезного сигнала и помехи вводится комплексная система с фильтром разностного сигнала (ФРС). Моделирование проводится для комплексных оптимально-инвариантных финитно-временных методов оценивания скорости полетов навигационной системе с применением доплеровского измерителя скорости и угла сноса и измерителя истинной воздушной скорости. Рассматриваются алгоритмы с обратной связью (ОС) и без обратной связи.

Целью данной работы является моделирование исследуемых алгоритмов и определение их характеристик. По результатам моделирования проводится сравнительный анализ предложенных методов фильтрации и фильтрации Калмана по качеству оценивания, а также робастности и помехозащитности.

При моделировании на вход фильтра разностного сигнала подается дискретный, линейный сигнал с нормальным распределением, нулевыми математическими ожиданиями и аддитивной погрешностью:

$$\mathbf{Z}_i = \mathbf{X}_i - \mathbf{H}_i,$$

где  $\mathbf{X}_i$  – вектор низкочастотной помехи измерителя истинной воздушной скорости, принятая за полезный сигнал;  $\mathbf{H}_i$  – вектор помехи доплеровского измерителя скорости и угла сноса.

Помеха датчика истинной воздушной скорости описывается стационарным случайным марковским процессом 1-го порядка с корреляционной функцией [2]:

$$K_{ij} = \sigma_X^2 \cdot e^{-\alpha \cdot |i-j| \cdot d},$$

где  $\sigma_X$  – среднеквадратическая погрешность измерения истинной воздушной скорости;  $\alpha$  – показатель затухания корреляционной функции;  $d$  – дискрет.

Погрешность ДИСС можно представить в виде белого шума с корреляционной функцией [2]:

$$K_{ij} = \sigma_H^2 \cdot \delta_{ij},$$

где  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $\sigma_H$  – среднеквадратическая погрешность измерения путевой скорости.

Критерием оптимальности для финитно-временного метода оценивания является минимум дисперсии ошибки оценки [1]:

$$\mathbf{D}_E = \text{Tr} \left[ \mathbf{M} \left[ \mathbf{E} \cdot \mathbf{E}^T \right] \right],$$

где  $\mathbf{E}$  – вектор ошибки оценки.

Финитно-временной алгоритм оценивания основан на следствии теоремы ортогонального проектирования, по которому определяется оптимальная матрица преобразования размерностью  $r1 \times r1$  [3]. Для финитно-временного алгоритма без ОС оптимальная матрица преобразования:

$$A_j^* = K_{XZ_j} \cdot K_{Z_j}^{-1}$$

где  $K_{XZ_j}$  – корреляционная матрица полезного и наблюдаемого сигнала,  $K_{Z_j}$  – автокорреляционная матрица наблюдаемого сигнала.

Оценка для финитно-временного алгоритма:

$$\hat{X}_j = A_j^* \cdot Z_j$$

Корреляционная матрица оценки сигнала:

$$K_{\hat{X}_j} = A_j^* \cdot K_{Z_j} \cdot A_j^{*T}$$

Вектор наблюдаемого сигнала при финитно-временном алгоритме без ОС:

$$Z_j = \begin{bmatrix} Z_j \\ Z_{j-1} \\ \vdots \\ Z_{j-r1+1} \end{bmatrix}_{r1 \times 1}$$

Вектор наблюдаемого сигнала при финитно-временном алгоритме с ОС:

$$Z_{os_j} = \begin{bmatrix} Z_j \\ \hat{X}_{j-1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{j-r1+1} \end{bmatrix}_{r1 \times 1}$$

При этом оптимальная матрица преобразования:

$$A_{os_j}^* = K_{XZ_{os_j}} \cdot K_{Z_{os_j}}^{-1}$$

где корреляционные матрицы, при условии, что математические ожидания полезного и наблюдаемого сигналов нулевые, определяются следующим образом:

$$K_{XZ_{os_j}} = M \left[ X_j \cdot Z_{os_j}^T \right],$$

$$K_{Z_{os_j}} = M \left[ Z_{os_j} \cdot Z_{os_j}^T \right].$$

Особенностью финитно-временного алгоритма с ОС является формирование матрицы  $K_{XZ_{os_j}}$  и  $K_{Z_{os_j}}$ , от определения которых зависит точность оценивания данного алгоритма.

При моделировании использованы следующие исходные данные:

- объем выборки  $N = 4000$ ;
- среднеквадратическое отклонение полезного сигнала  $SIG1$  и  $SIGw1$  равно 5 м/с, диапазон изменения от 1 до 10 м/с;
- среднеквадратическое отклонение белого шума  $SIG0$  и  $SIGw0$  равно 3 м/с, диапазон изменения от 1 до 5 м/с;
- память финитно-временной обработки  $r1 = 5$ , диапазон изменения  $r1$  от 2 до 5;
- дискрет  $d = 5$  и определен по теореме Котельникова [4]:

$$d < \frac{\pi}{\alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - 0,05 \cdot \frac{\pi}{2} \right)}.$$

При анализе рассматриваемых алгоритмов основным параметром для сравнения является статистическая дисперсия ошибки оценки, определяемая формулой:

$$Dwef_i = Dwef_{i-1} + \frac{1}{i-1} \cdot \left[ (wef_i - Mwef_i)^2 - Dwef_{i-1} \right],$$

где  $wef_i$  – ошибка оценки наблюдаемого сигнала,  $Mwef_i$  – математическое ожидание ошибки оценки.

На графиках  $DwefOS2$  – дисперсия ошибки оценки финитно-временного метода с ОС,  $DwefT2$  – дисперсия ошибки оценки финитно-временного метода без ОС,  $Dwefk2$  – дисперсия ошибки оценки алгоритма оценивания Калмана.

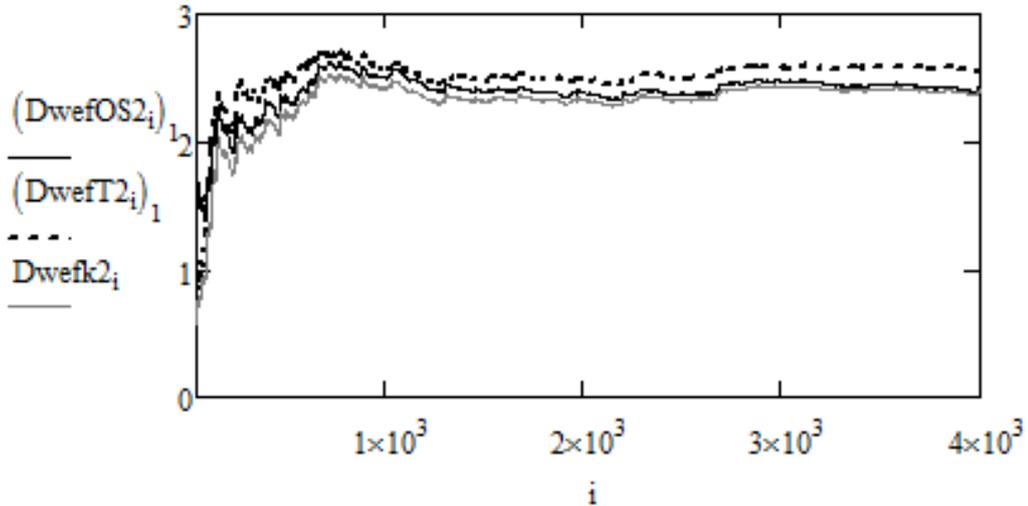


Рис. 1. Дисперсии ошибок оценок исследуемых алгоритмов в зависимости от момента времени

Из рис. 1 видно, значения дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов по завершению переходного процесса (ПП) незначительно отличаются:

$$DwefOS2_N = 2.427;$$

$$DwefT2_N = 2.569;$$

$$Dwefk2_N = 2.397.$$

Однако, финитно-временные методы оценивания по точности уступают методу оценивания Калмана, так как при оценивании используется меньше априорных данных.

Таким образом, применение финитно-временных методов оценивания целесообразно в случаях, когда необходим простой алгоритм, сравнимый по точности с методом оценивания Калмана.

На рисунках ниже приведены результаты анализа рассматриваемых алгоритмов на робастность и помехозащищенность.

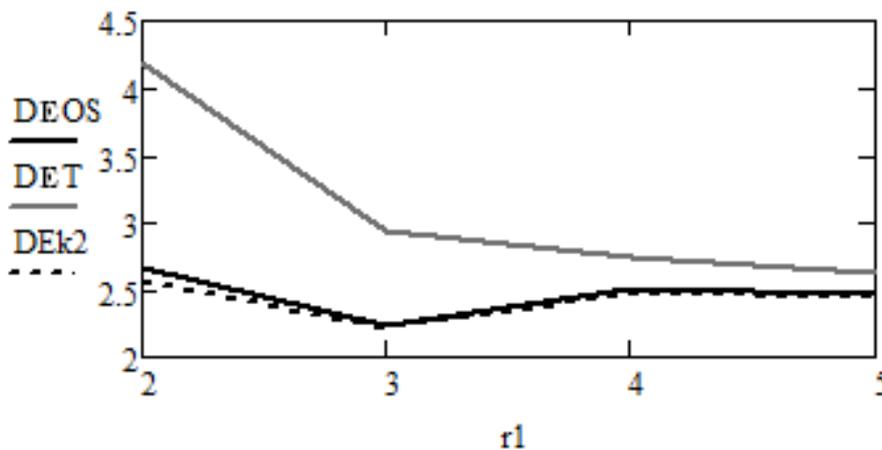


Рис. 2. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от параметра  $r1$

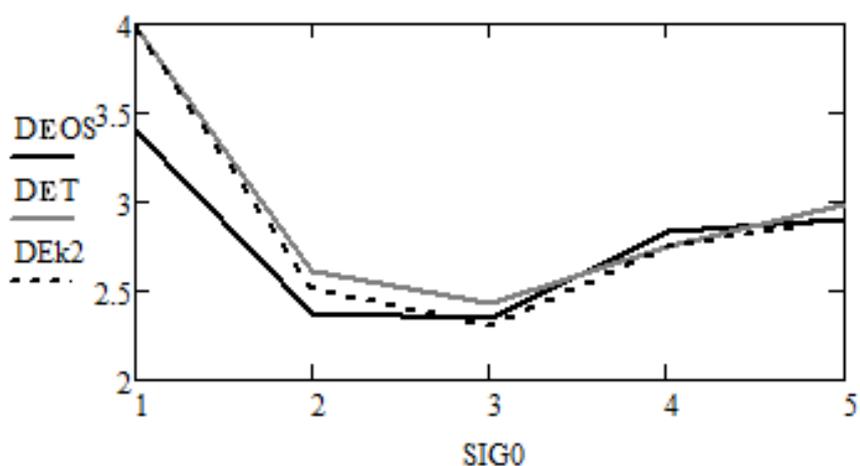


Рис. 3. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от параметра SIG0 при проверке на робастность

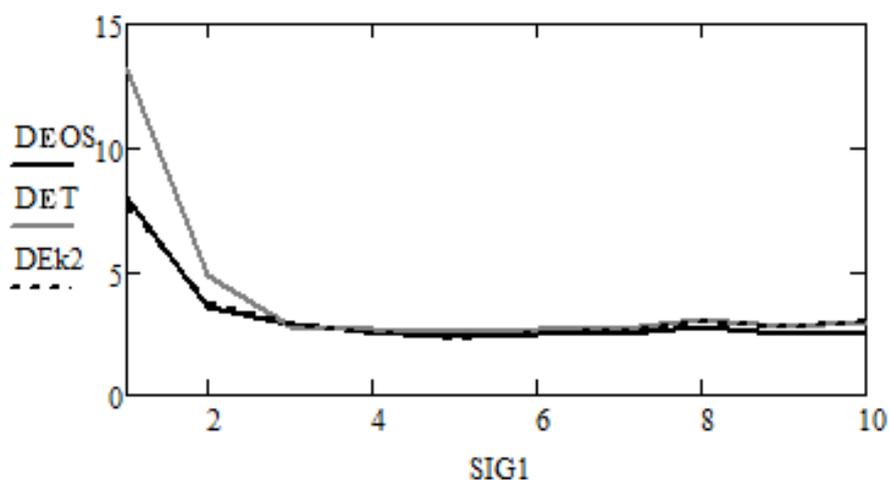


Рис. 4. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от параметра SIG1 при проверке на робастность

Как видно из рис. 3 и 4, финитно-временной алгоритм оценивания с ОС при проверке на робастность по параметрам SIG0 и SIG1 лучше за счет использования обратной связи, при этом финитно-временной алгоритм без ОС и метод Калмана не сильно уступают. Вид зависимостей на рис. 3 и 4 обусловлен тем, что при изменении параметров SIG0 и SIG1 алгоритм отклоняется от номинальных параметров и, следовательно, оценивание сигнала становится неоптимальным.

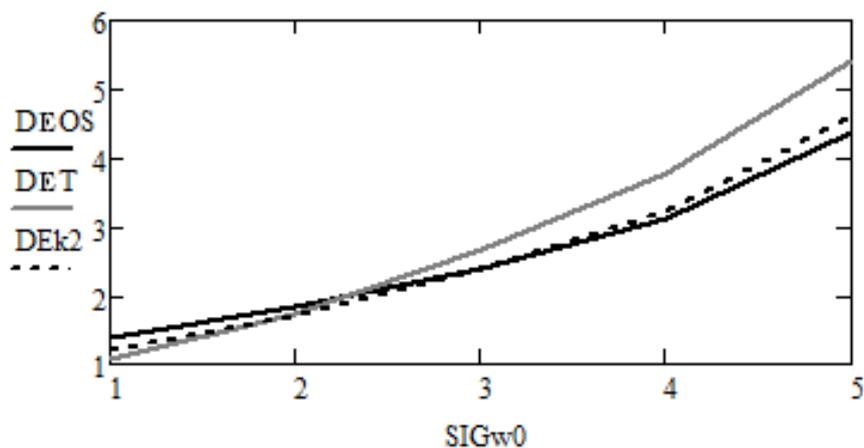


Рис. 5. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от параметра SIGw0 при проверке на помехозащищенность

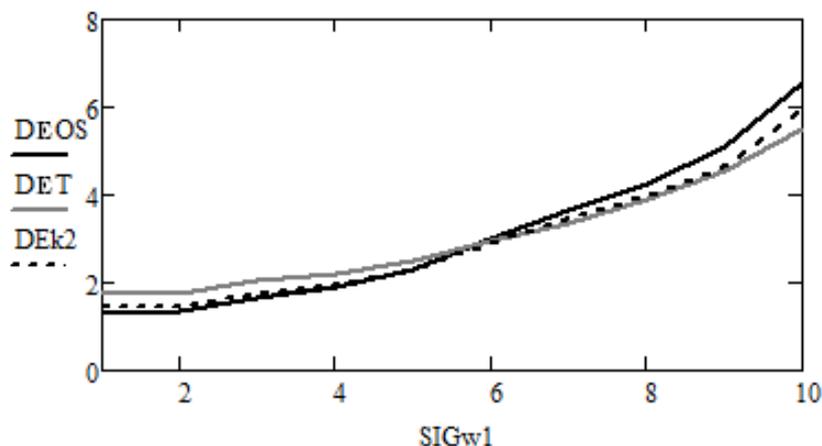


Рис. 6. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых алгоритмов от параметра  $SIGw1$  при проверке на помехозащищенность

При проверке на помехозащищенность исследуемые алгоритмы имеют схожие тенденции при изменении параметров  $SIGw0$  и  $SIGw1$ , что видно из рис. 5 и 6. При этом лучшей характеристикой по параметру  $SIGw1$  обладает финитно-временной алгоритм без ОС, а по  $SIGw0$  финитно-временной алгоритм с ОС. Вид зависимостей на рис. 5 обусловлен изменением соотношения сигнала и помехи, поэтому с увеличением  $SIGw0$  увеличиваются дисперсии ошибок оценок.

На рис. 2 показано, что точность финитно-временного алгоритма без ОС по точности приближаться к алгоритму оценивания Калмана за счет увеличения параметра  $r1$ , но при этом будут увеличиваться затраты памяти при реализации данного алгоритма. Точность финитно-временного метода с ОС также зависит от параметра  $r1$ , но при этом, исходя из рис. 2, наибольшей точности алгоритм достигает при определенном диапазоне  $r1$ . В данном случае диапазон от 3 до 4.

По результатам проделанной работы можно отметить, что финитно-временные методы обработки уступают по точности методу Калмана, но при этом за счет использования параметра  $r1$  могут быть асимптотически приближены к нему. Также исследуемые методы финитно-временной обработки имеют ряд преимуществ:

- более простой математический аппарат;
- возможность оценивания более широкого класса сигналов при сохранении простоты реализации и синтеза алгоритмов;
- можно добиться приближения финитно-временных методов к методу Калмана за счет выбора параметра  $r1$ , определяющего используемую память устройства.

#### Библиографический список

1. Иванов Ю. П. Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 5. С. 23–27.
2. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов / под ред. В. А. Боднера. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 207 с.
3. Иванов Ю. П., Никитин В. Г. Информационно-статистическая теория измерений. Методы оптимального синтеза информационно-измерительных систем, критерии оптимизации и свойства оценок. СПб.: ГУАП, 2011. 104 с.
4. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем. СПб.: ГУАП, 2008. 160 с.
5. Бокс Дж., Г. Дженкинс. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / пер. с англ. под ред. проф. Б. Р. Левина. М.: Связь, 1976. 496 с.

УДК 004.93'11

**В. Н. Лутчин**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. В. Небылов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ

Важнейшей составляющей в системе обнаружения препятствий является выбор датчиков, подходящих под условия работы. Задача комплекса состоит в том, чтобы определять объекты, такие как другие транспортные средства, пешеходы и ограждения находящиеся на пути следования транспортного средства.

При использовании системы обнаружения возможны два варианта событий: не обнаружение существующего препятствия на пути либо детектирование ложных объектов. В случае с не обнаружением существующего препятствия может произойти столкновение, а в случае с детектированием ложных объектов система будет принимать неверные действия, которые будут приносить дискомфорт пассажирам.

*Radar* (Radiodetection and ranging – радиобнаружение и измерение дальности) и *Lidar* (Light identification detection and ranging – обнаружение, идентификация и определение дальности с помощью света) датчики представляют собой ключевые компоненты для функций помощи водителю.

*Radar* использовался в автомобильной промышленности на протяжении десятилетий и может определять скорость и расстояние до объектов. Может работать практически во всех условиях окружающей среды.

Датчики *Radar* могут быть классифицированы по диапазону их работоспособности:

- радиолокатор ближнего действия (SRR) диапазон от 0,2 до 30 м
- радиолокатор среднего радиуса действия (MRR) на расстоянии 30–80 м
- радар дальнего радиуса действия (LRR) на расстоянии от 80 до 200 м.

Радиолокатор дальнего радиуса действия (LRR) – это датчик, используемый в адаптивном круиз-контроле (ACC) и системах автоматического экстренного торможения на шоссе (AEBS).

В настоящее время системы, использующие только LRR для ACC и AEBS, имеют ограничения и могут неправильно реагировать на определенные условия, такие как резкое появление препятствия перед вашим транспортным средством, обнаружение транспортных средств с тонким профилем, таких как мотоциклы, и установка расстояния до препятствия из-за кривизны дороги.

*Lidar* измеряет расстояние до объекта, вычисляя время, затрачиваемое импульсом света на прохождение к объекту и обратно к датчику (рис. 1).

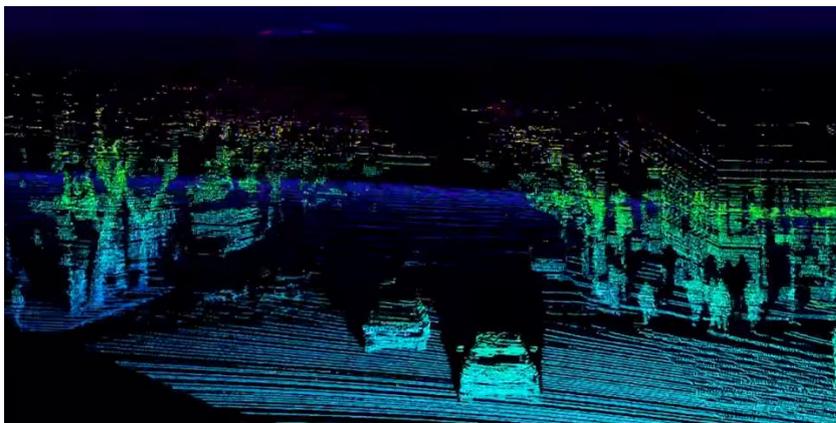


Рис. 1. Трехмерное облако точек, получаемое Lidar

Расположенный на транспортном средстве, Lidar сканирующий пространство на 360°, может обнаружить препятствия, которые транспортное средство должно избегать. Из-за этой возможности Lidar являлся дорогим датчиком на момент его появления.

С тех пор датчики Lidar значительно сократили размеры и стоимость, но некоторые из наиболее широко используемых и признанных моделей по-прежнему стоят намного дороже, чем радары или камеры.

Lidar в автомобильных системах обычно использует длину волны 905 нм, которая может обеспечить диапазон обнаружения до 200 м и некоторые компании в настоящее время продают 1550 нм Lidar с большей дальностью и большей точностью.

Важно отметить, что для Lidar требуются оптические фильтры для устранения чувствительности к окружающему свету и предотвращения изменения получаемых данных при попадании импульсов от других датчиков на сенсор. Также важно отметить, что используемая лазерная технология должна быть «безопасной для глаз».

В настоящее время стандартный Lidar с механическим сканированием, при котором лазер и приемник физически вращаются для сбора данных по области, охватывающей до 360° по горизонтали, заменяется на твердотельный Lidar (SSL), который не имеет движущихся частей и поэтому является более надежным, особенно в автомобильной среде, для обеспечения долгосрочной надежности. SSL в настоящее время имеют меньшую область сканирования чем стандартные Lidar, но их более низкая стоимость обеспечивает возможность использования нескольких датчиков для покрытия большей площади.

Климатические изменения влияют на максимальную дальность обнаружения, так как дождь, снег и туман обычно ограничивают область обнаружения к диапазону, который человеческий глаз имеет при этих условиях. Учитывая среду передвижения, брызги воды, снег и грязь ограничивают производительность и вводят призрачные цели для такого датчика. Кроме того, грязь и ледяной покров на датчике останавливает его корректную работу, однако эти эффекты могут легко быть обнаружены самими датчиками и моментально исправлены (рис. 2).

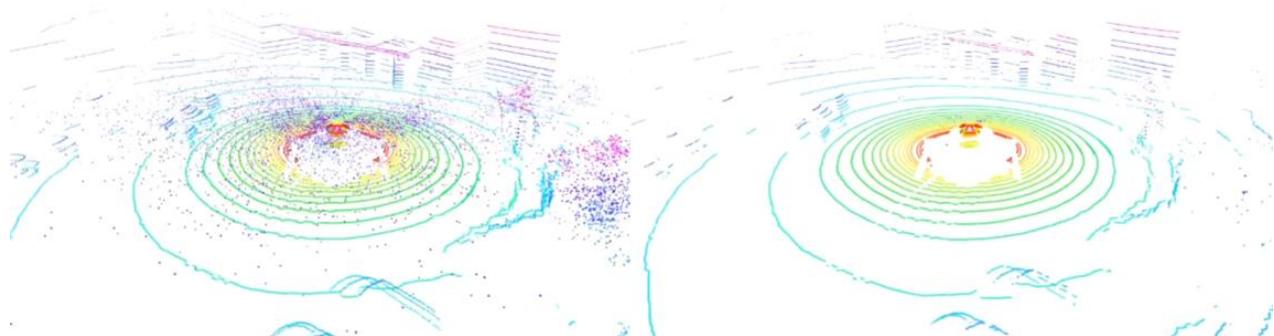


Рис. 2. Трехмерное облако точек при падающем снеге до и после фильтрации

Видеокамеры: в отличие от Lidar и Radar являются пассивными системами.

Технология сенсора камеры и разрешение играют очень большую роль в её возможностях. Камеры, подобные человеческому глазу, подвержены неблагоприятным погодным условиям и изменениям освещения. Но камеры являются единственной технологией, которая может захватывать текстуру объектов, информацию о цвете и контрасте. Также высокий уровень детализации, фиксируемый камерами, позволяют им быть ведущей технологией для классификации. Эти функции в сочетании с постоянно растущим разрешением пикселей и низкой ценой делают датчики камеры незаменимыми и лидерами по объему для систем помощи водителю и автономных систем.

Радарные датчики, доступные на рынке сегодня, страдают из-за низкого углового разрешения и плохого обнаружения целей на расстояниях от 30 до 60 м. Lidar, напротив, показывают большую чувствительность к влияниям окружающей среды (снег, туман, грязь).

Общий подход для преодоления отдельных недостатков каждого датчика основывается на использовании методов объединения данных. Объединение необработанных данных требует общего стандартизированного интерфейса для данных, более того, следующие поколения датчиков должны быть в состоянии динамически адаптироваться к новым ситуациям.

## Преимущества и недостатки имеющихся датчиков

	Радиолокатор ближнего действия	Радиолокатор дальнего действия	Lidar	Ультразвуковой датчик	Видеокамера	3D-камера	Инфракрасная камера
Измерение дальности < 2м.	0	0	0	++	-	++	-
Измерение дальности 2...30 м.	+	++	++	-	-	0	-
Измерение дальности 30...150 м.	Нп.	++	+	--	-	-	-
Измерение угла ниже < 10° от горизонтали	+	+	++	-	++	+	++
Измерение угла выше > 30° от горизонтали	0	-	++	0	++	+	++
Угловое разрешение	0	0	++	-	++	+	++
Прямая информация о скорости	++	++	--	0	--	--	--
Работа под дождем	++	+	0	0	0	0	0
Работа в тумане или снегу	++	++	-	+	-	-	0
Работа с грязью на датчике	++	++	0	++	--	--	--
Работа в темноте	++	++	++	++	Нп.	Нп.	++

Так как развитие транспортных функций сегодня смещается все больше к виртуальному прототипированию, должны быть доступны математические модели датчиков. Эти модели должны принимать учитывать принцип работы датчика, а также все типичные ошибки измерения, генерируемые датчиком.

Комбинирование нескольких датчиков используется для достижения большей дальности и повышение качества обнаружения.

Чтобы преодолеть эти ограничения, Lidar может быть объединен с видеокамерой в транспортном средстве, чтобы обеспечить дополнительные возможности для обнаружения препятствий.

В результате, можно получить компактную систему, позволяющую заблаговременно оповещать водителя о препятствиях и при отсутствии действий со стороны человека самостоятельно совершать операции по изменению курса движения и скорости транспортного средства.

## Библиографический список

1. Zining Wang, Wei Zhan. Fusing Bird's Eye View LIDAR Point Cloud and Front View Camera Image for Deep Object Detection arXiv: 1711.06703v3 [cs.CV], 2018.
2. Jonathan Petit, Bas Stottelaar. Remote Attacks on Automated Vehicles Sensors: Experiments on Camera and LiDAR. SecurityInnovationWilmington, MA UnitedStates, 2016.

УДК 621.757

**В. А. Масталиева**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОЙ БИОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА

Биосистема – система живых организмов и окружающих их неорганических тел, связанных между собой потоком энергии и круговоротом веществ. Важной научной и прикладной исследовательской задачей является диагностика нормального функционирования таких биосистем, ориентированная на выбор биохимических параметров в качестве индикаторов сбалансированного состояния биосистем [1].

Таким образом, основными направлениями исследований замкнутых биосистем являются:

- 1) Комплексное изучение принципов функционирования замкнутых биосистем различной степени сложности;
- 2) Разработка научных основ создания экспериментальных замкнутых биосистем и их исследование как моделей биосферы Земли и искусственных биосфер для жизнеобеспечения человека [1];
- 3) Создание принципов и действующих моделей замкнутых биосистем, включая стационарное совершенствование регенерирующих звеньев, для длительного пребывания человека в экстремальных земных и космических условиях;

### Описание объекта исследования

Исследуемая биосистема представляет собой герметичный стеклянный сосуд объемом 2 литра, в котором в соотношении 2/3 к 1/3 содержится вода и воздух. Основу экосистемы составляют водные растения – микроводоросли и фитопланктон (продуценты). В процессе фотосинтеза микроводорослями на свету выделяется кислород, происходит поглощение диоксида углерода и создание запасов органических веществ, необходимых для питания живыми организмами – консументами (креветками, рыбками).

Ранее похожие эксперименты проводились на борту американского «Шаттла» и Российской космической станции «Мир» [2]. Для оценки возможностей данной замкнутой экосистемы и с целью оптимизации управления ею построена математическая модель, опирающаяся на кинетические коэффициенты.

### Разработка математической модели объекта исследования

Для количественной динамики биосистемы и ее изучения рекомендуется использовать систему дифференциальных уравнений.

В математической модели для четырех указанных компонентов будем обозначать количество «обобщенной биомассы» 1-го, 2-го, 3-го и 4-го компонента биосистемы переменными  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и  $u$ . Каждое из этих уравнений отражает изменения в приращениях соответствующего ему компонента с учетом трофического взаимодействия с предыдущим и последующем уровнем.

Данная система описывает трофические взаимодействия всех компонентов, а также помогает отслеживать устойчивость [3]:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= (-ay + (bMu + d)(1 - x/R) - c_1)x, \\ \dot{Y} &= (ax - ez - c_2)y, \\ \dot{Z} &= (ey - hu - c_3)z, \\ \dot{U} &= (hz - bx - c_4)u,\end{aligned}\quad (1)$$

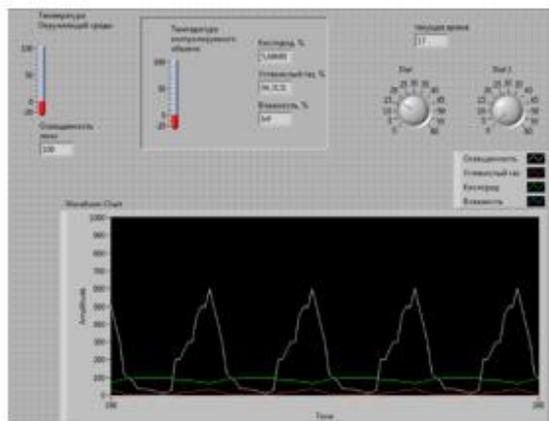
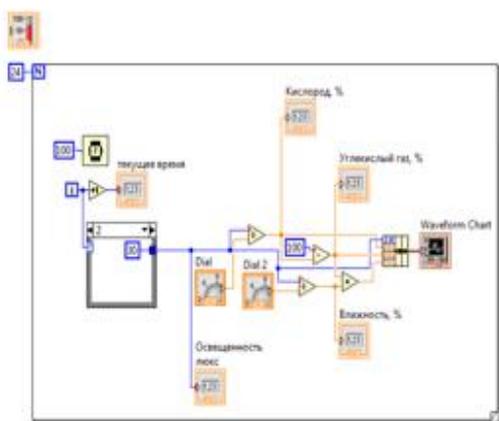
где  $a$  – скорость потребления биомассы компонента 1 в результате взаимодействия компонентом;  $e$ ,  $h$  – удельные скорости потребления биомассы 2 и 3 компонентами с элементами 3 и 4 соответственно;  $b$  – удельная скорость потери биомассы последним компонентом, приводящим к увеличению биомассы первого компонента с удельной скоростью, с учетом мультипликатора.  $M$  – мультипликатор, который учитывается при увеличении биомассы первого компонента. Кроме того, любой компонент отражает потерю биомассы в результате энергетических и материальных потерь на существование. Соответствующие коэффициенты обозначим  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ .

Исходя из того, что в эксперименте участвует биологический объект, задача исследования состоит в том, чтобы контролировать и управлять составляющими его жизнедеятельности. Под контроль следует взять следующие параметры: температура и уровень освещённости, под анализ жизнедеятельности биологического объекта: температура, освещённость, растворённый кислород и водородный показатель, pH.

Описанная выше модель была использована при моделирующей компьютерной программы в среде Labview (рис. 1 и 2). Данная программа содержит датчики, которые отвечают за наблюдаемые и подконтрольные параметры системы. Данные с датчиков поступают в управляющий компьютер, что позволяет определить текущее состояние системы, а также оценить тенденцию изменения ее состояния на час, два, три вперёд [3].

Говоря о CubeSat, стоит отметить, что на данном этапе разрабатывается пока не орбитальный модуль, а именно макет для кратковременного полета на большую высоту, причём запуск макета CubeSat планируется провести на воздушном шаре на высоту 30 км. Для рассматриваемого макета будет необходимым поддержание нормальной, положительной температуры внутри макета микроспутника (с целью обеспечения биологическому объекту допустимых для жизни температур).

Поскольку регулировка и поддержание температурного уровня в замкнутой экосистеме является одним из наиболее важных параметров для поддержания её устойчивого существования, один из способов поддержания был рассмотрен более детально.



*Рис. 1. Общая модель представления работы всей системы, обеспечивающая передачу показаний для контроля за стабильностью существования замкнутой экосистемы*

*Рис. 2. Панель управления с датчиками для подключённой экосистемы, для отслеживания и поддержания её стабильного функционирования и жизнеобеспечения*

### **Обеспечение поддержания необходимого диапазона температурного режима в замкнутой биосистеме на борту макета микроспутника CubeSat**

На данном этапе исследований основная задача по запуску макета CubeSat на высоту 30 км над уровнем Земли заключается в поддержании необходимой температуры для обеспечения нормальной жизнедеятельности исследуемого объекта. Для этого используются инфракрасная плёнка и элементы Пельтье.

Предлагается конструкция CubeSat с колбой, в которую помещён биологический объект эксперимента (рис. 3). Внешняя сторона (куб 1 – ёмкость 1) – куб большой размерности, куда будет помещён куб с сосудом, который, в свою очередь, будет содержать пробирку с объектом исследования, второй по размерности (куб 2 – ёмкость 2) – основной куб, куда помещена пробирка с биологическим объектом, третья, меньшее по размерности, является цилиндрическим сосудом (ёмкость 3), куда уже помещается в пробирке биологический объект (ёмкость 4).

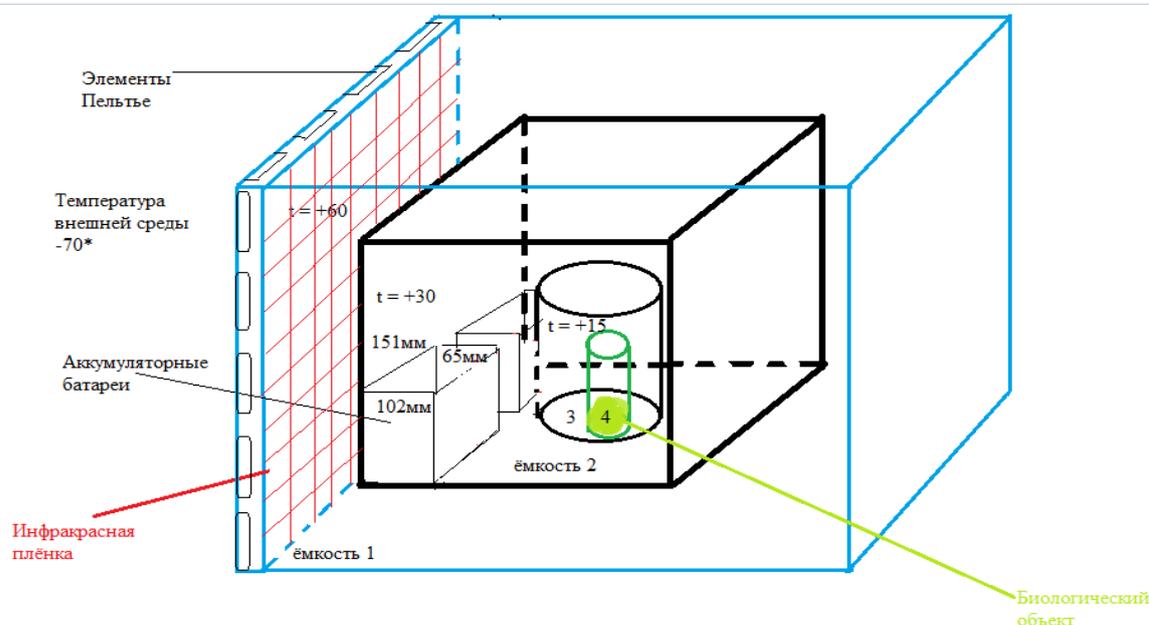


Рис. 3. Представление модели CubeSat с использованием инфракрасной плёнки и элементов Пельтье

Внутреннюю сторону самой большой ёмкости 1 необходимо оклеить холодной стороной элементами Пельтье таким образом, чтобы обеспечить коммутацию, горячую сторону элемента оклеить инфракрасной плёнкой, эта сторона будет как раз обращена к кубу (элемент 3), который содержит в себе цилиндрический сосуд и биологический объект (элементы 3 и 4 соответственно). С каждого элемента по отдельности формируются импульсы для подзарядки аккумулятора. Источником питания для подключения инфракрасной плёнки может служить инвертор подключенный к АКБ или напрямую к АКБ в импульсном режиме.

Выполненные расчеты показывают, что система на высоте эксперимента (30 км) в условиях полной автономии при разнице температуры на границе сред до 150–200 градусов будет поддерживать необходимую для жизнедеятельности экосистемы температуру около 12 часов.

### Направления дальнейших исследований

В ближайших планах наших исследований будет реализован лабораторный исследовательский стенд, который позволит в наземных условиях проверить правильность функционирования используемых математических и компьютерных моделей. Для этого в его составе включается система регистрации параметров исследуемой системы, а также средства ее управления (по температуре и освещенности). Также для популяризации проводимых исследований предусматривается включение в состав стенда интернет-камеры, позволяющей в on-line режиме удаленно управлять экспериментом. В планах есть использовать полученные для макета результаты при разработке уже полноценного научного эксперимента.

### Вывод

Рассмотренная модель даст возможность исследовать и оценивать текущую устойчивость конкретных экологических систем путем биологических наблюдений и математических вычислений скорости потребления биомассы, освещенности, температуры, что позволит сделать вывод о необходимости стабильного существования и способах регулирования систем. В практическом отношении подобные системы позволят обеспечить высокое качество жизни человека за пределами биосферы – в космосе, а также в экстремальных условиях полярных широт, пустынь, высокогорья или под водой.

### Библиографический список

1. Жмудь В. А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2018. 126 с.

2. Нечитайло Г. С., Машинский А. Л. Биология в космосе: исслед. на орбит. станциях. М.: Мир, 1993. 503 с.
3. Перлюк М. Ф., Перлюк В. В. Экологические аспекты оценки критериев устойчивости рационального использования морских биоценозов. Мурманск: МГТУ, 1997.
4. Флоренсов А. Н. Описание динамики экосистемы с помощью четырехкомпонентной математической модели // Вестник ТГУ. Т. 19. Вып. 5. 2014. С. 4.
5. Моделирование адаптивной самоорганизации экосистем // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5.

УДК 621.317.66

**М. В. Мезенин**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Г. Никитин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО РАСХОДОМЕРА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ XFLOW

Важнейшим источником почти всех достоверных сведений о свойствах, качестве и поведении датчиков на всем протяжении их жизненного цикла являются испытания. По результатам испытаний формируются основания для совершенствования конструкции, технологии изготовления, планирования снабжения запасными частями, технического обслуживания в эксплуатации. На сегодняшний день использование компьютерных технологий для качественного проектирования новых моделей датчиков является одним из наиболее перспективных методов.

В авиации для измерения расхода топлива широко применяются скоростные расходомеры, у которых расход пропорционален скорости вращения крыльчатки. Расход топлива необходимо измерять с большой точностью, так как мощность поршневых и турбовинтовых двигателей и тяга турбореактивных двигателей пропорциональна расходу топлива в единицу времени. Поскольку расходомеры топлива включаются в топливную магистраль, то к ним предъявляются жесткие требования в отношении гидравлического сопротивления при нормальной работе и при отказе прибора [1].

В настоящей работе рассматривается технология проведения виртуальных испытаний путем создания и анализа виртуальной модели рассматриваемого датчика на высокопроизводительных вычислительных системах с помощью инженерных пакетов. Такой подход позволяет существенно повысить точность анализа проектных вариантов продукции, значительно сократить материальные затраты и время на разработку нового изделия, проводить виртуальные эксперименты, которые в реальности выполнить невозможно. В виртуальной модели можно легко менять различные параметры: механические свойства, геометрию изделия.

Экспериментальные подходы в изучении закрученных потоков не позволяют в полной мере выявить закономерности, управляющие процессами фазоразделения при вихревом турбулентном течении газожидкостного потока в связи со сложностью замера параметров потока, испытывающих высокочастотные пульсации значений. По этой причине для исследования такого рода течений применяются современные методы численного моделирования. Вычислительный эксперимент позволяет определить оптимальные соотношения конструктивных и режимных параметров устройства, а также значительно повысить эффективность процессов фазоразделения газожидкостных потоков в вихревых аппаратах. Это необходимо для равномерного распределения потока в топливопроводе за расходомером, так как важно добиться поступления потока без перепадов давления на последующие элементы топливной системы летательного аппарата.

В качестве примера будет рассмотрен скоростной расходомер ДРТ1-27А. Задача заключается в создании виртуальной модели и моделировании распределения направления и скоростей потоков за возмущающими элементами. Для расчета течения жидкости в расходомере используется программный пакет XFlow.

При моделировании течения жидкости в топливопроводе создается плоскость входа жидкости с заданной скоростью, а также граничная плоскость выхода. На остальных внутренних плоскостях были заданы граничные условия типа «твердое тело» с абсолютной шероховатостью 0,005 мм, что соответствует среднему значению шероховатости, применяемому в скоростных расходомерах. В качестве жидкой среды было выбрано топливо марки ТС-1 при комнатной температуре. Заданная скорость потока 5 м/с.

Были рассмотрены следующие расчетные случаи:

1. Струевыпрямитель установлен только перед крыльчаткой.
2. Струевыпрямители установлены до и после крыльчатки.

Результаты моделирования для первого случая:

1. В потоке возникает турбулентность после прохождения крыльчатки (рис. 1).

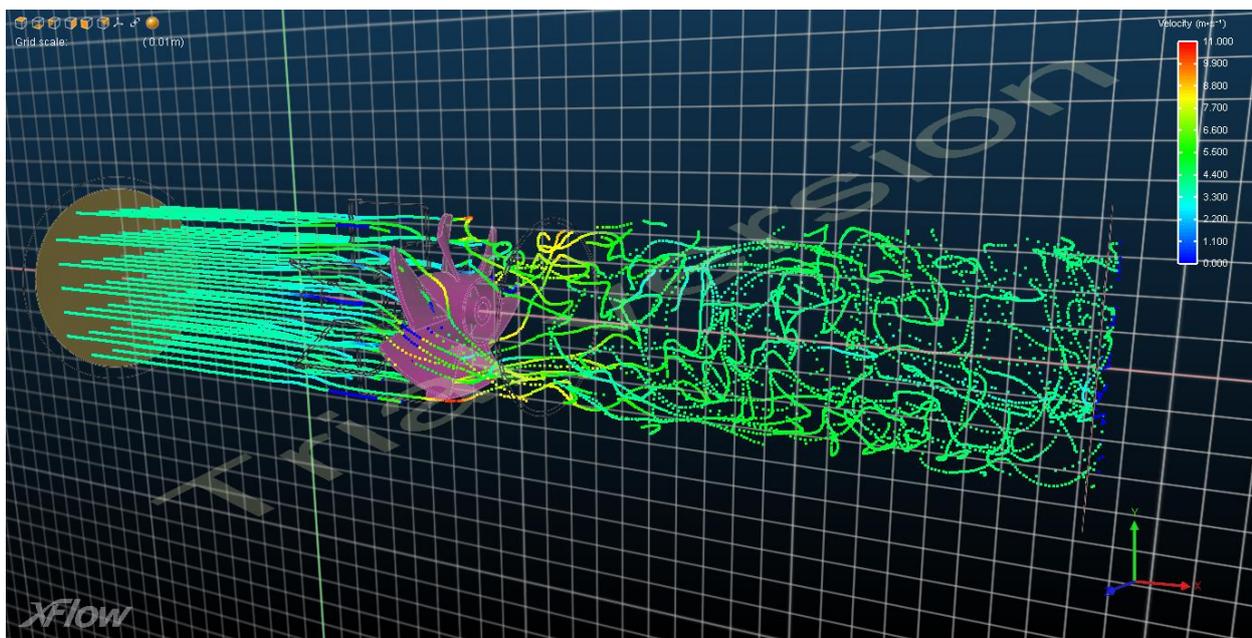


Рис. 1. Распределение скоростей потока после прохождения крыльчатки, при отсутствии заднего струевыпрямителя

2. Поток перемещается в поперечном сечении (рис. 2).
3. Образуется область торможения потока, в которой скорость падает до 0 м/с (рис. 3).

Результаты моделирования для второго случая:

1. Наблюдается ламинарное движение жидкости на выходе из датчика (рис. 4).
2. Поперечное движение потока практически отсутствует (рис. 5).
3. Поток проходит датчик без существенных потерь в скорости (рис. 6).

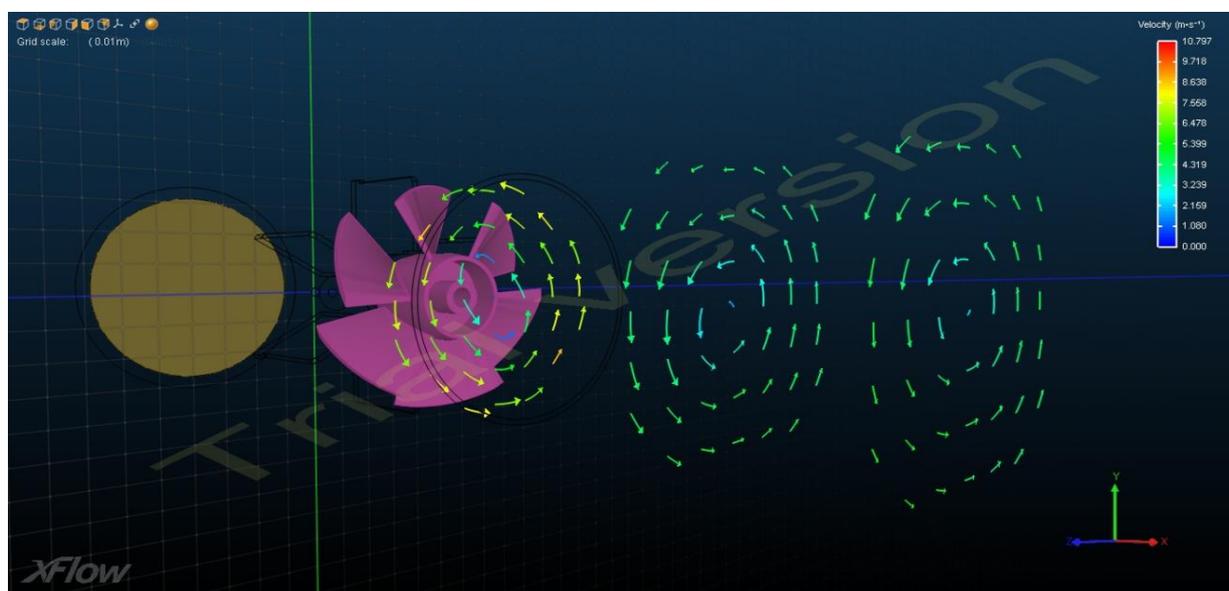


Рис. 2. Распределение скоростей потока в поперечном сечении

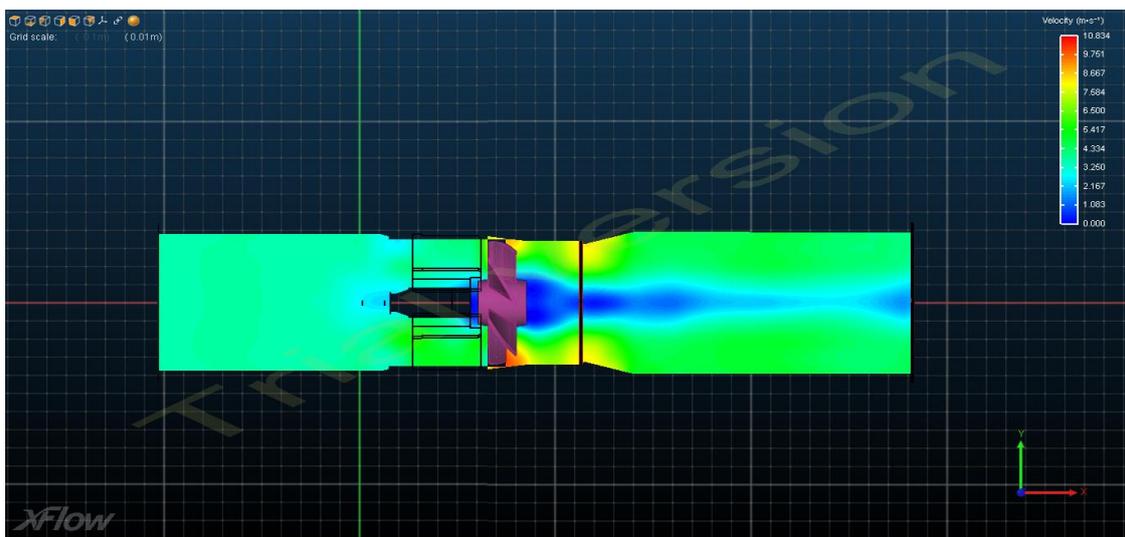


Рис. 3. Распределение скоростей потока в продольном сечении

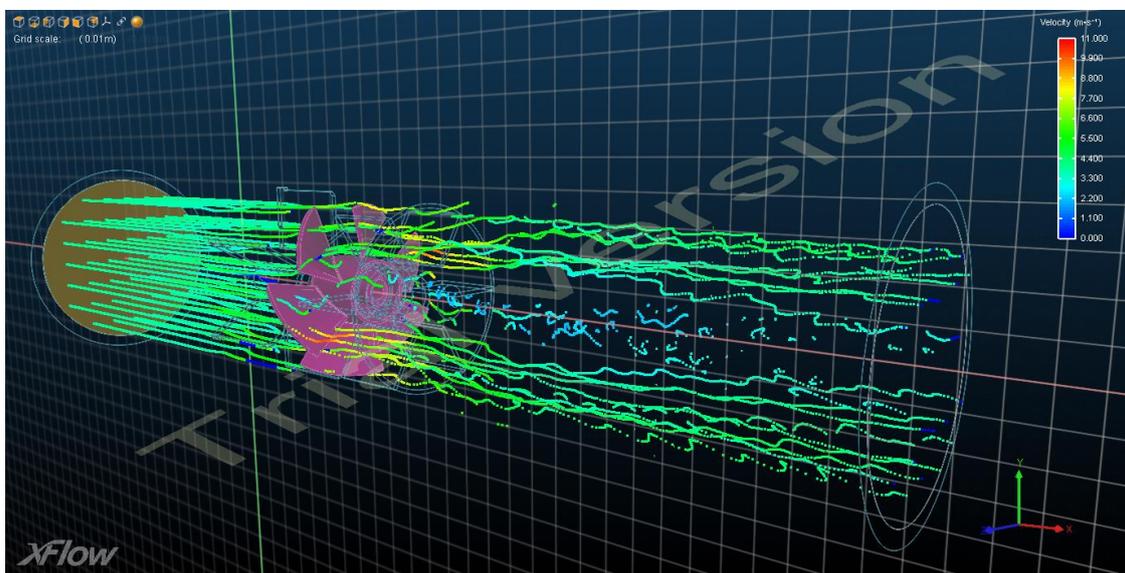


Рис. 4. Распределение скоростей потока после прохождения крыльчатки, с установленным задним струевыпрямителем

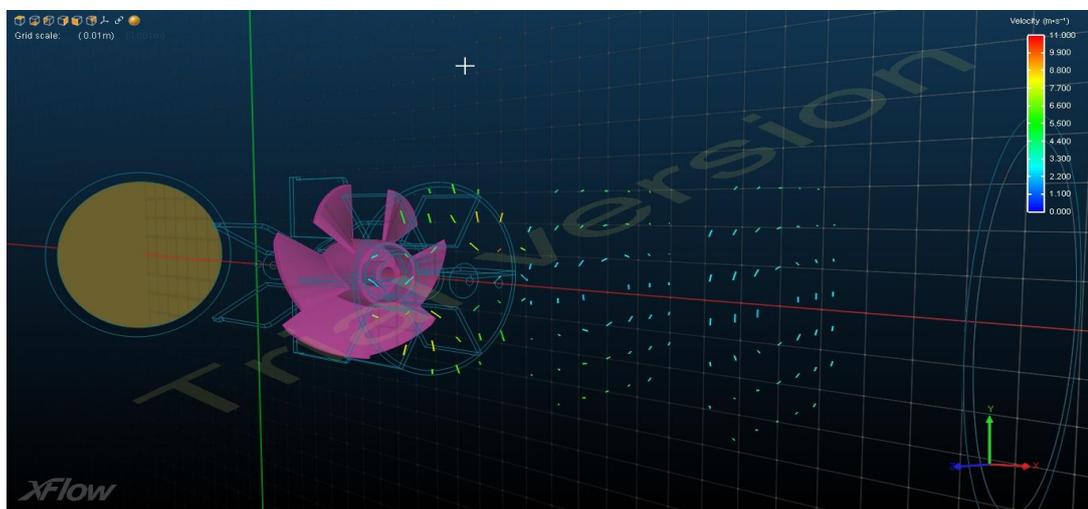


Рис. 5. Распределение скоростей потока в поперечном сечении

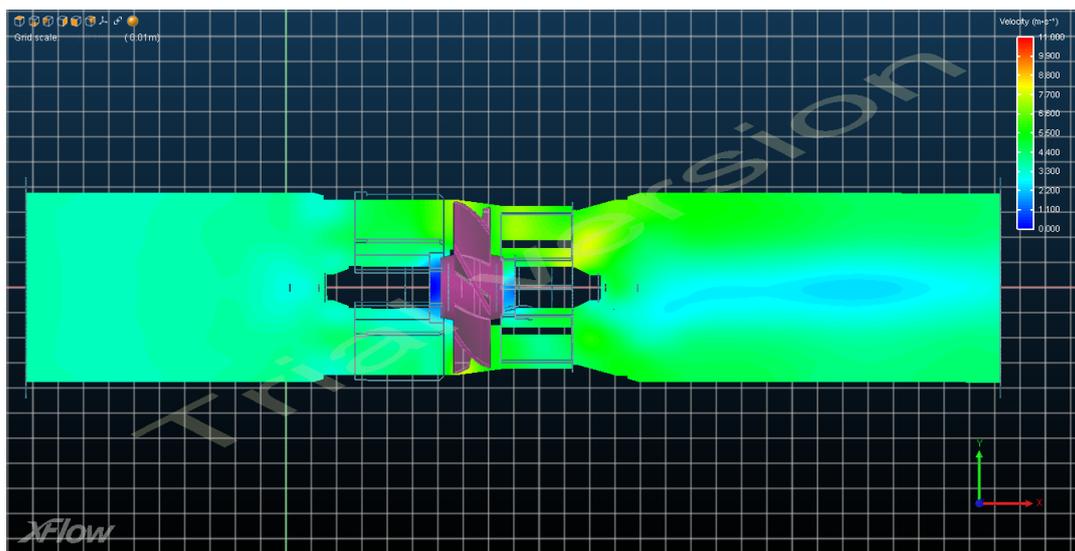


Рис. 6. Распределение скоростей потока в продольном сечении

По результатам эксперимента видно, что установка струевыпрямителей перед и после крыльчатки позволяет добиться равномерного распределения потока жидкости в топливопроводе после прохождения датчика. Это позволяет добиться меньших потерь в скорости потока при прохождении крыльчатки, что в свою очередь снижает гидравлическое сопротивление датчика.

Рассмотренная технология проведения виртуального эксперимента предоставляет возможность делать приближенные оценки распределения потока жидкости в проектируемом изделии без проведения множества реальных испытаний.

В настоящее время ведется дальнейшее изучение технологий проведения виртуального эксперимента, для учета большего количества параметров проводимого виртуального эксперимента, с целью приближения его к реальным условиям.

#### Библиографический список

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989. 293 с.
2. XFlow 2014 User Guide. 2014 Next Limit Dynamics SL, 2014.

УДК 621.373.8

**Е. А. Минив**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. П. Григорьев** – старший преподаватель – научный руководитель

### ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ. ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

В соответствии с современными тенденциями развития отечественной ракетно-космической техники в космических аппаратах (КА) применяются перспективные источники энергии (электрохимические генераторы, термоэмиссионные и ядерные энергетические установки) и комбинированная полезная нагрузка (радиотехническая, радиолокационная, оптико-электронная и пр.), что существенно усложняет конструкцию элементов развёртывания, отвечающих за приведение изделия в рабочее положение.

Существуют различные методы контроля линейных и угловых положений и/или перемещений подвижных элементов конструкции (ПЭК) космического аппарата (радиопанелей, панелей солнечных батарей, ферм, штанг и т. д.), реализуемые с различной точностью широкой номенклатурой бортовой и датчиково-преобразующей аппаратуры работающей на различных физических принципах (табл. 1).

Стоит задача выбрать такой метод измерения углового положения, который позволит производить измерения с необходимой точностью, и на основе его разработать систему контроля позиционирования ПЭК. Точность задается исходя из технической записки – погрешность должна быть не более 10 угл. мин.

Таблица 1

#### Сравнительный анализ методов контроля линейных и угловых положений и/или перемещений ПЭК

Метод измерения	Тип датчика	Достоинства	Недостатки
1. Радиотехнический	Частотный радиодальномер	Позволяет определить скорость отодвижения и расстояние, на которое осуществляется выдвигание	Несущая частота работы датчика не должна пересекаться с частотами бортовой аппаратуры КА; высокая стоимость; требуется расчет бюджета радиолинии: коэффициента усиления антенны и т.д.
	ДИСС (Доплеровский измеритель скорости и угла сноса)		
2. Пиротехнический	Пиросредство + датчик температуры	Высокая надежность; точность; малые габариты; простота конструкции; низкая стоимость изготовления	Производит измерения в дискретные моменты времени; нет возможности контроля окончания раскрытия (движения); неоднозначность измерения
3. Резистивный	Резистивный датчик угла поворота	Точный контроль угла (в градусах или % шкалы) процесса поворота панели	Наличие механической части (трущаяся часть, дорожка)
4. Тензометрический	Тензодатчик	Помехоустойчивость; многоканальность; точность; простота	Невозможно использовать на больших расстояниях, так как появляется помеха кабельной сети; необходимость термостатирования
5. Пьезоэлектрический	Пьезодатчик	Компактность; высокая точность измерений; простота конструкции	Необходимость термостатирования; восприимчив к паразитным вибрациям корпуса конструкции

Метод измерения	Тип датчика	Достоинства	Недостатки
6. Электроёмкостной	Ёмкостной датчик	Отсутствие подвижных контактов; высокая чувствительность; небольшие габаритные размеры и масса; высокий порог чувствительности и небольшая инертность	Работа на высокой частоте; повышенные требования к экранированию элементов; малый коэффициент преобразования.
7. Электромеханический	Микропереключатель	Малые габариты; простота конструкции; низкая стоимость изготовления	Отсутствие возможности контроля промежуточных этапов раздвижения; окисление контактов; возможность несрабатывания при малой приложенной силе
	Потенциометрические датчики	Высокая точность и стабильность; малое значение переходного сопротивления; низкий уровень собственных шумов; низкая цена	Наличие скользящего контакта; ограниченные возможности при использовании переменного тока
8. Электромагнитный	Герконовые датчики	Отсутствие поверхностей трения; малые габариты; контроль прохождения реперных точек, контроль скорости раздвижения; простота конструкции; низкая стоимость изготовления	Низкая чувствительность магнитов; высокая восприимчивость к внешним магнитным потокам; при подаче больших токов контакты сердечников могут самопроизвольно размыкаться
	Энкодеры, магнитные датчики Холла	Простота конструкции; обработка сигналов на высоких скоростях	Паразитные наводки; высокая восприимчивость к внешним магнитным потокам
9. Оптический	ИК – датчик движения	Простота конструкции; низкая стоимость	Ограничена дальность действия датчика; наличие поверхностей плохо отражающих ИК – свет может вывести датчик из строя; низкая помехозащищенность
	Фотоэлектрический датчик	Охват большого сектора обзора; простота конструкции; отработанные схемотехнические решения	Невозможность регистрации прозрачных объектов; сбой при появлении световых вспышек и бликов; ограничение по дальности
	Видеокамеры	Охват большого сектора обзора; объемное детектирование; наглядный, качественный контроль раскрыва (раздвижения) конструкций	Сложность монтажа; высокая стоимость; высокие массогабаритные размеры; засветки; необходимо термостатирование
10. Лазерный	Лазерный фазометрический дальномер	Высочайшая точность; слабая зависимость от окружающей среды	Не работают с объектами, которые имеют абсолютно зеркальную поверхность; высокая стоимость; необходима предварительная юстировка оптической оси в стенде обезвешивания

Из рассмотренных выше методов наибольшее внимание стоит уделить лазерным системам контроля. Данные системы обеспечивают наибольшую точность по сравнению с другими.

Все лазерные системы можно разделить на автономные (бортовые) и неавтономные (наземные). В качестве примера неавтономных лазерных систем можно привести ретрорефлекторные системы (РС), которые образуются уголковыми отражателями, размещенными на КА. Назначение последних систем состоит в отражении луча лазерного дальномера обратно к источнику излучения для прецизионного измерения дальности до КА. [1]

Применение РС в задаче позиционирования ПЭК КА ограничивается тем, что работа данных систем зависит от климатических условий, то есть лазер должен находиться в зоне видимости, также требуется последующая расшифровка данных (постобработка). Существенным недостатком данной системы также является то, что она не обеспечивает необходимую защиту информации для применения на КА специального назначения, так как используется открытый канал связи. Стоит отметить, что РС применимы только для низкоорбитальных КА и для определения дальности требуются мощные лазеры.

Для непрерывного осуществления контроля позиционирования подвижных элементов в реальном режиме времени необходимо использование автономных лазерных систем на борту КА. Одним из способов реализации такой системы является использование лазерных или волоконно-оптических гироскопов, принцип действия которых основан на эффекте Саньяка. При вращении панели, на которой устанавливаются датчики, разность фаз лучей пропорциональна угловой скорости вращения панели. Зная угловую скорость вращения путем интегрирования определяется угол отклонения панели от перпендикулярности. К сожалению, такие системы на основе гироскопов не обеспечивают необходимую точность. Лазерные гироскопы с дрейфом нуля 0,005-0,1 град/ч обладают значительными габаритными характеристиками.

Для реализации бортовой системы позиционирования предлагается метод измерения углового положения с использованием оптической пары, состоящей из квантового генератора (лазер) – используется как построитель плоскости и приемника луча, выполненного в виде ПЗС матрицы.

Суть метода заключается в следующем: для построения плоскости на каждой панели устанавливается по два квантовых генератора с приемниками излучения (на корпусе КА). В результате, вдоль направления панель – корпус КА формируются оптические оси, подлежащие последующей юстировке. После юстировки, фиксирования и монтажа оптической системы, при отклонении панели от корпуса КА оптическая ось, сформированная лазером – смещается. Величина смещения – контролируется ПЗС матрицей. Так как габаритные размеры панели и матрицы – известны, то отклонение по углу вычисляется аппаратом тригонометрической математики.

Исходя из предложенного метода измерения углового положения ПЭК относительно корпуса КА осуществляется выбор элементов оптической измерительной системы:

1. Оптический генератор – 160×160×215 с погрешностью  $\pm 0,05$  мм при измерении до 10 м;
2. Приемник оптического излучения – ПЗС-матрица 25×25 пикселей с погрешностью  $\pm 0,01$  мм;
3. Микроконтроллер – 32-х разрядный, рабочая частота до 66 МГц, производительность 1,5 MIPS/МГц.

Общая погрешность, предложенной оптической лазерной измерительной системы, ориентировочно составит не более 7 угл. мин.

### Библиографический список

1. Соколов А. Л., Акентьев А. С., Ненадович В. Д. Космические ретрорефлекторные системы. М.: АО «НПК «СПП». 2017.
2. Джашитов В. Э., Панкратов В. М., Голиков А. В. Общая и прикладная теория гироскопов с применением компьютерных технологий. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. 154 с.

УДК 004.896

**М. М. Мурадзаде**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. Я. Мамаев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Основное назначение обучающих систем – повышение уровня знаний и интеллекта обучаемых. Приобретенные ими знания зависят от трех составляющих: информации (содержания учебного материала), потребности обучаемого в их получении (наличии у него осознанной мотивации обучения) и его индивидуальная способность к накоплению этих знаний.

Отличительной особенностью интеллектуальной обучающей среды является большая роль, которая в процессе обучения отводится собственному интеллектуальному потенциалу учащегося. Достигается это объединением интеллектуальной обучающей среды и симуляторов познания. Интеллектуальная обучающая среда позволяет обращаться сразу ко всем уровням обучения и может быть использована педагогом широко профиля.

Искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы (ГА) являются сравнительно молодыми направлениями исследований в области искусственного интеллекта и принятия решений. Обе концепции используют для функционирования аналоги природных принципов.

Процесс обучения ИНС может рассматриваться как настройка архитектуры сети, а также весов связей для эффективного выполнения поставленной задачи. Обычно нейронная сеть должна настроить веса по предоставленным обучающим примерам. Свойство сети обучаться на примерах делает их более привлекательными по сравнению с системами, которые работают по заранее заложенным алгоритмам.

Среди всех существующих методов обучения можно выделить два класса: детерминированный и стохастический.

Детерминированный итеративно корректирует параметры сети, основываясь на её текущих параметрах, величинах входов, фактических и желаемых выходов. Примером подобного метода является метод обратного распространения ошибки.

Стохастический методы изменяют параметры сети случайным образом. При этом сохраняются только те изменения, которые привели к улучшениям. В качестве примера стохастического метода обучения можно привести следующий алгоритм:

1. Выбрать параметры сети случайным образом и подкорректировать их на небольшую случайную величину. Предъявить множество входов и вычислить получающиеся выходы.
2. Сравнить эти выходы с желаемыми и вычислить разницу между ними. Эта разница называется ошибкой. Цель обучения состоит в том, чтобы минимизировать ошибку.
3. Если ошибка уменьшилась коррекция сохраняется, в противном случае коррекция отбрасывается и выбирается новая.

Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока сеть не обучится.

Важно отметить, что стохастический метод обучения может попасть в «ловушку» локального минимума.

Генетический алгоритм – это метод перебора решений для тех задач, в которых невозможно найти решение с помощью математических формул. Однако простой перебор решений в сложной многомерной задаче – это бесконечно долго. Поэтому генетический алгоритм перебирает не все решения, а только лучшие. Алгоритм берёт группу решений и ищет среди них наиболее подходящие. Затем немного изменяет их – получает новые решения, среди которых снова отбирает лучшие, а худшие отбрасывает. Таким образом, на каждом шаге работы алгоритм отбирает наиболее подходящие решения (проводит селекцию), считая, что они на следующем шаге дадут ещё более лучшие решения (эволюционируют).

Он может применяться для подстройки весов скрытых и выходных слоев при фиксированном наборе связей и широко используется в задачах оптимизации и обучения нейронных сетей. В плане

математической модели – это алгоритм нахождения глобального экстремума многоэкстремальной функции, заключающийся в параллельной обработке множества альтернативных решений.

При этом поиск концентрируется на наиболее перспективных из них.

Алгоритм использует следующие определения:

- ген – весовой коэффициент нейронной сети;
- хромосома – набор генов (т.е. весовых коэффициентов нейронной сети, считываемых в определенном порядке сверху вниз, справа налево); каждая хромосома является возможным решением (т.е. таким набором весовых коэффициентов, которые лучше подходят для определения экстремума);
- популяция – множество хромосом, вариантов наборов весовых коэффициентов;
- эпоха – итерация, соответствующая созданию нового поколения хромосом.

Хромосомы являются основными сущностями, над которыми в определенном порядке в пределах одной эпохи проводятся следующие операции:

- скрещивание – создание с определенной степенью вероятности ( $P_c$ ) новой хромосомы из генов двух других и добавление ее в популяцию;
- мутация – изменение с определенной степенью вероятности ( $P_m$ ) значения произвольного гена любой хромосомы и добавление ее в популяцию;
- приспособление – удаление из популяции хромосом (т.е. наборов весовых коэффициентов), показавших худший результат.

### Моделирование ГА в Matlab

В качестве примера рассмотрим следующую функцию:

$$F(x) = \begin{cases} -\exp\left(-\left(\frac{x}{20}\right)^2\right), & \text{при } x \leq 20 \\ -\exp(-1) + (x-20) \cdot (x-22), & \text{при } x > 20 \end{cases} \quad (1)$$

Функция имеет два локальных минимума, один в точке  $x = 0$ , и другой в точке  $x = 21$ . Поскольку последнее значение является более меньшим, то глобальный минимум находится в точке  $x = 21$  (рис. 1).

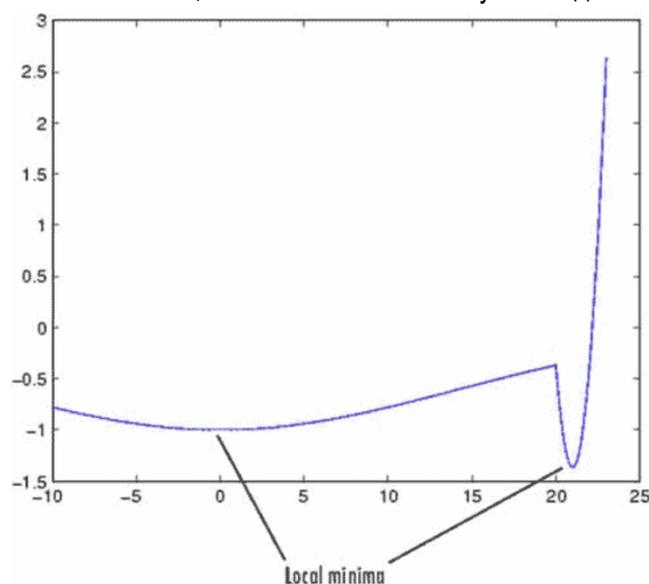


Рис. 1. График функции (1)

*initial range*: [0; 1] – задание диапазона, в котором будут генерироваться случайные значения при создании начальной популяции.



Рис. 2. Настройка параметра *initial range* [0;1]

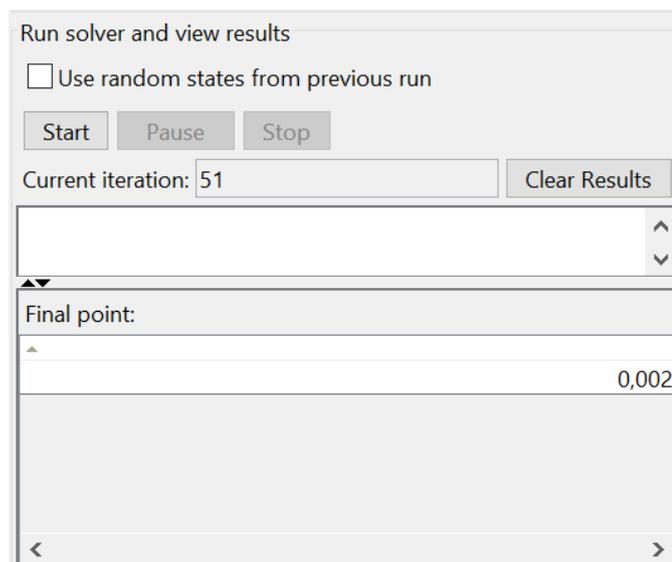


Рис. 3. Результат работы генетического алгоритма при  $initial\ range\ [0;1]$

Генетический алгоритм возвратил точку очень близкую к локальному минимуму в точке  $x = 0$ , но не являющейся глобальным экстремумом (рис. 3).

Один из способов настроить генетический алгоритм обрабатывать точки из более широкого диапазона, т.е. расширить диверсификацию семейств, заключается в увеличении параметра  $initial\ range$ . Параметр  $initial\ range$  не должен включать в себя точку  $x = 21$ , но он должен быть достаточно большим, так чтобы данный алгоритм генерировал индивидуализированные объекты вблизи  $x = 21$ .



Рис. 4. Настройка параметра  $initial\ range\ [0;15]$

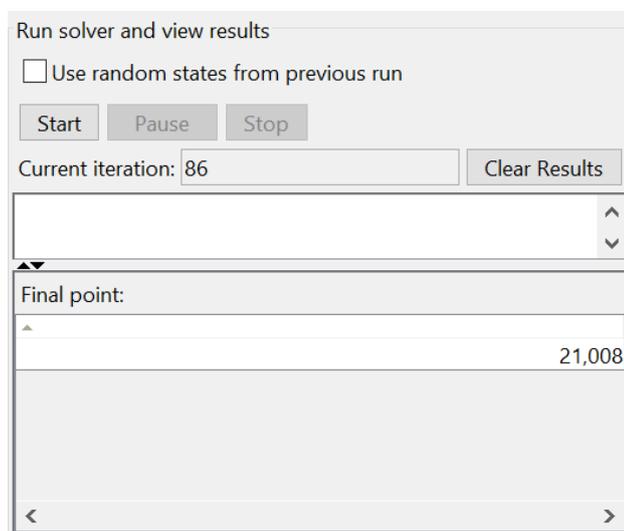


Рис. 5. Результат работы генетического алгоритма при  $initial\ range\ [0;15]$

Генетический алгоритм возвратил точку очень близкую к  $x = 21$ , что удовлетворяет условию задачи (рис. 5).

### Использование гибридной функции.

Гибридной функцией является некая оптимизационная функция, которая выполняется по окончании работы генетического алгоритма и предназначена для улучшения значений функции пригодности. В качестве исходной точки в гибридной функции используется конечная точка Генетического алгоритма. Определить гибридную функцию можно с помощью опции Hybrid function.

В качестве примера выбран поиск минимума функции Розенброка (также известна как вторая функция Де Йонга), которая является примером тестовой функции для локальных методов оптимизации, и имеет минимум 0 в точке (1,1), и определяется по формуле:

$$f(x_1, x_2) = 100 \cdot (x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2. \quad (2)$$

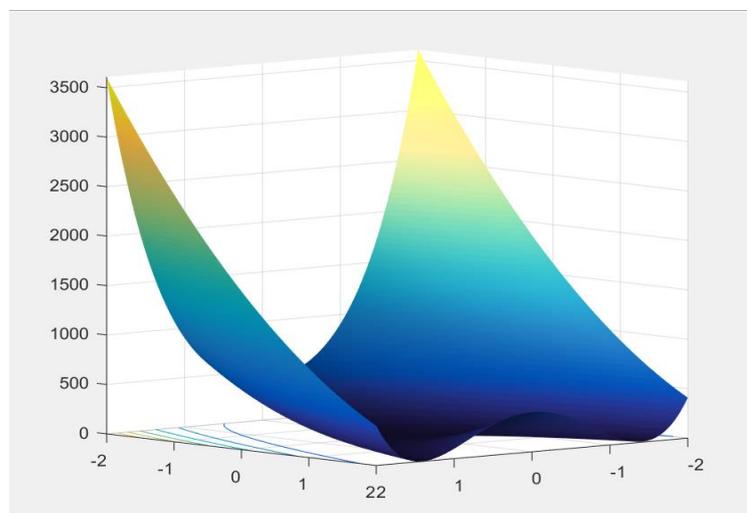


Рис. 6. График функции Розенброка

Final point:	
1 ^	2
0,948	0,89

Рис. 7. Результат работы опции Hybrid function

Конечная точка расчетов близка к точке истинного минимума (1,1). Имеется возможность улучшить результаты расчета путем установки в опции *Hybrid function* требуемой гибридной функции *fminunc*.

По окончании выполнения генетического алгоритма функция *fminunc* воспринимает конечную точку генетического алгоритма в качестве исходной и возвращает более точный результат (рис. 8).

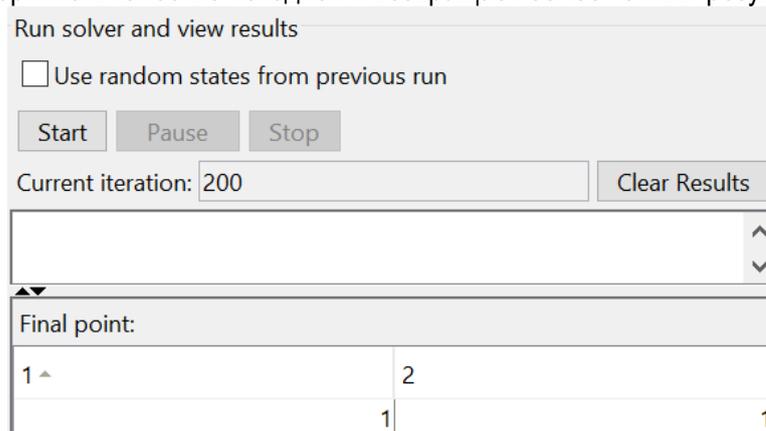


Рис. 8. Результат работы функции *fminunc*

### Библиографический список

1. Бураков М. В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб.: ГУАП, 2008. 164 с.
2. Бураков М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.

УДК 629.7.05(075.8)

**П. Ю. Осипов**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Б. Л. Бирюков** – старший преподаватель – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНИРОВАННЫМ ДОВОРТОМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НАЛИЧИЕМ ПЕРЕКРЁСТНЫХ СВЯЗЕЙ

Система автоматического управления (САУ) беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – комплекс технических устройств [1], обеспечивающих управление ЛА. Под управлением будем понимать [2, 3, 4] процесс изменения параметров движения ЛА в желаемом направлении и целенаправленное воздействие на работу отдельных систем, на характеристики ЛА для выполнения программы полёта.

Рассмотрим математическую модель управления углом рыскания.

Угол рыскания  $\psi$  опережает угол вектора скорости  $\psi_1$ . Если скольжение отсутствует ( $\beta=0$ ), то связь между углами рыскания и крена следует из формул бокового движения при  $f_1=0$  [1]

$$\psi(p) = \frac{n_{12}p + n_{14}}{p} \gamma(p),$$

где  $n_{12}, n_{14}$  – параметры лёгкого БПЛА.

Угол доворота вектора скорости  $\psi_1$  пропорционален интегралу от крена, т.е.

$$\psi_1(p) = \frac{n_{14}}{p} \gamma(p).$$

Таким образом, если известен угол крена  $\gamma$ , то угол доворота вектора скорости можно найти по данной формуле.

Приближенные значения угла крена можно найти из передаточной функции

$$\frac{\gamma(p)}{\gamma_3(p)} = \frac{\omega^2}{p^2 + 2d\omega p + \omega^2} \gamma(p),$$

где индекс «з» означает заданное значение.

Передаточная углом крена для управления углом рыскания

$$\frac{\gamma(p)}{\psi_3(p)} = \frac{\omega^2 k p}{p^3 + 2d\omega p^2 + \omega^2 p + \omega^2 k (n_{12}p + n_{14})} \gamma(p),$$

где  $\omega, d$  – частота и коэффициент затухания;  $k$  – коэффициент передачи.

Если умножить эту передаточную функцию на передаточную функцию  $n_{14}/p$ , связывающую угол крена с углом доворота вектора скорости  $\psi_1$ , то получим передаточную функцию для угла доворота

$$\frac{\psi_1(p)}{\psi_3(p)} = \frac{n_{14}\omega^2 k}{p^3 + 2d\omega p^2 + (1 + n_{12}k)\omega^2 p + \omega^2 n_{14}k} = W_1(p),$$

где  $W_1(p)$  – передаточная функция по параметру  $\psi_1$ .

Для определения неизвестных параметров  $k, d$  и  $\omega$ , входящих в передаточную функцию  $W_1(p)$ , приблизим ее к стандартной передаточной функции вида.

$$W_2(p) = \frac{\Omega^2}{p^2 + 2D\Omega p + \Omega^2}.$$

Для этого потребуем, чтобы разность  $\Delta p = W1(p) - W2(p)$  и ее производные по  $p$  при  $p \rightarrow 0$  обращались в нуль. Из условия  $\left. \frac{d \cdot p}{dp} \right|_{p=0} = 0$  получаем

$$k = \frac{\Omega}{2Dn_{14} - \Omega n_{12}}.$$

Аналогично из условия  $\left. \frac{d^2 \cdot p}{dp^2} \right|_{p=0} = 0$  имеем

$$2d = \frac{\omega k}{\Omega} n_{14}.$$

Для обеспечения хорошего качества переходного процесса выберем стандартные значения  $\Omega = 1.43, D = 0.8$ . Для легкого БПЛА можно принять следующие значения параметров:  $\omega = 2.19, d = 0.66$  (для безразмерного времени).

Схема моделирования рассматриваемой САУ системе компьютерного моделирования Simulink: представлена на рис. 1, а результаты моделирования – на рис. 2, 3, 4.

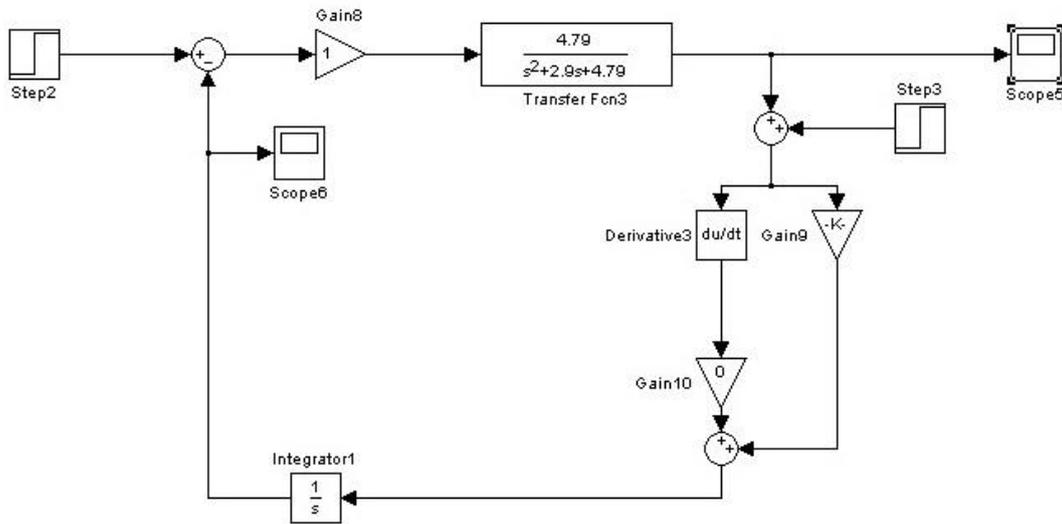


Рис. 1. Схема моделирования САУ координированным доворотом

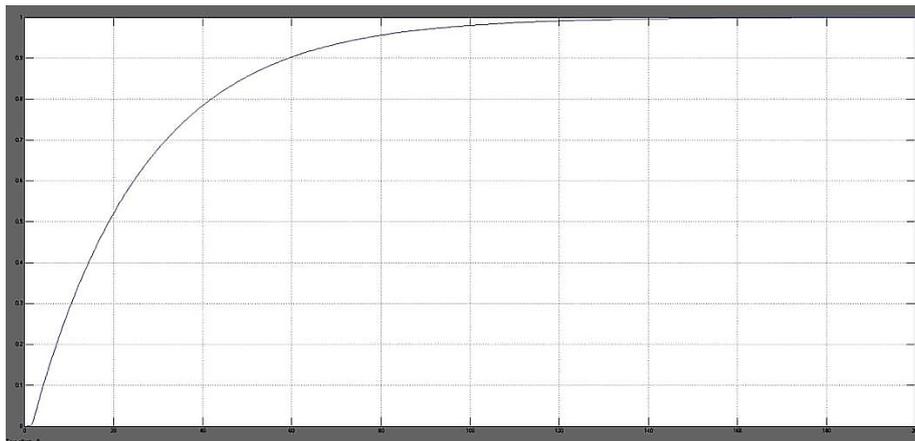
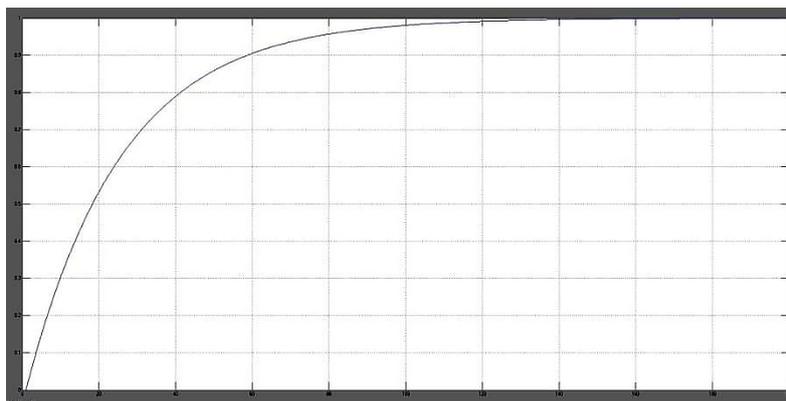
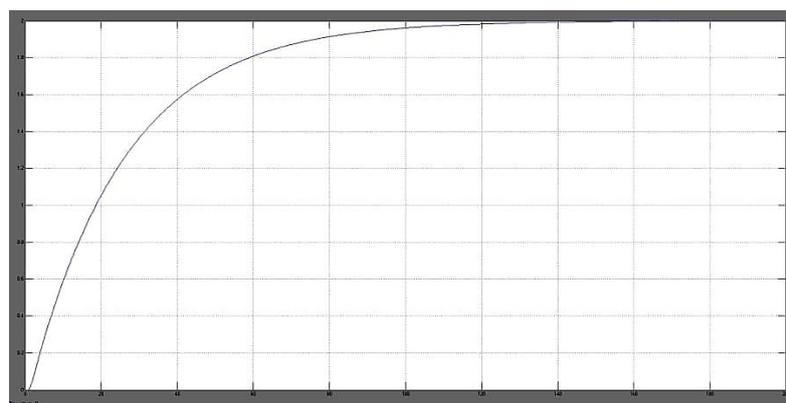


Рис. 2. Переходный процесс для угла рыскания от времени по управляющему воздействию.



*Рис. 3. Переходный процесс для угла рыскания от времени по возмущающему воздействию.*

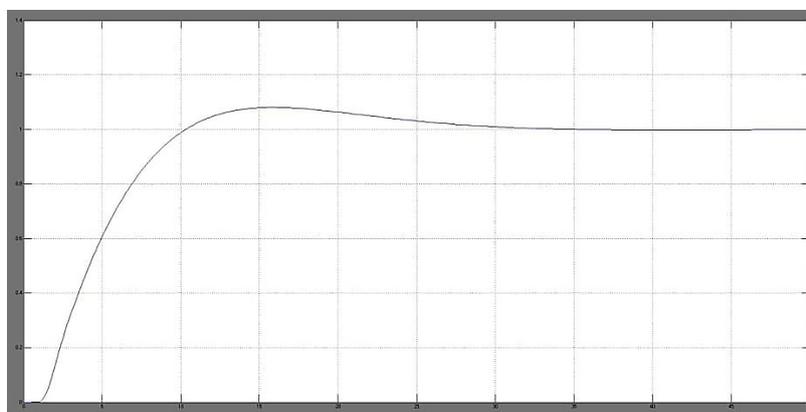


*Рис. 4. Переходный процесс для угла рыскания от времени при одновременном присутствии управляющего и возмущающего воздействий.*

Из приведённых графиков следует, что система обладает астатизмом по управлению, но астатизм отсутствует по возмущению. Несмотря на то, что за счёт обратной связи статическая ошибка, вызванная возмущением, частично ослабляется, её наличие существенно снижает качество управления.

Для исключения статической ошибки по возмущению предлагается усовершенствовать первоначальную схему координированного доворота ЛА с помощью введения корректирующего звена, изоморфного звена и обратной связи по крену.

На рис. 5 приведен, переходный процесс усовершенствованной системы при подаче одновременно управляющего и возмущающего воздействий. Как видно из рисунка, система сохранила астатизм по управлению, но не имеет статической ошибки по возмущению. При этом параметры качества переходного процесса удовлетворяют заданным требованиям.



*Рис. 5. Переходный процесс усовершенствованной системы для угла рыскания от времени при одновременном присутствии управляющего и возмущающего воздействий.*

Дальнейшее развитие системы управления может быть связано с приданием ей свойства инвариантности [5, 6], означающего, что в системе одна или несколько регулируемых величин, являются независимыми (инвариантными) от внешних возмущений (непараметрических), действующих на систему.

#### Библиографический список

1. Боднер В. А. Системы управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973.
2. Андриященко В. А. Теория систем автоматического управления. Л.: ЛГУ, 1990.
3. Иванов В. А., Ющенко А. С. Теория дискретных систем автоматического управления. М.: Наука, 1983.
4. Теория автоматического управления. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986.
5. Садомцев Ю. В. Модели систем автоматического управления. Непрерывные системы. Саратов.: СГТУ, 1990.
6. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975.

УДК 629.058

**В. А. Полосков**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. А. Тупышев** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЭМС-МОДУЛЯ

В работе рассматривается подход к оцениванию погрешностей бескарданных инерциальных навигационных систем (БИНС) с учетом особенностей движения объекта, таких как отсутствие движения центра масс, изменения угловой ориентации при выработке навигационных и динамических параметров по информации от трех акселерометров и датчиков угловых скоростей, включенных в измерительный модуль.

Развитие элементной базы, чувствительных и вычислительных средств объясняют тот факт, что в настоящее время для решения различных прикладных задач широкое распространение получило использование измерительных модулей, включающих в свой состав триаду акселерометров и датчиков угловых скоростей (ДУС). Следует отметить, что уровень ошибок выработки навигационных и динамических параметров с использованием измерительных модулей, таких как координаты, скорости, углы ориентации, определяется точностными характеристиками чувствительных элементов, акселерометров и гироскопов, и эти ошибки имеют нарастающий во времени характер [1, 2, 3]. Как правило, повышение точности выработки навигационных и динамических параметров обеспечивается комплексированием информации от измерительного модуля и средств внешней коррекции с использованием различных алгоритмов оценивания, например, алгоритмов калмановской фильтрации. Отметим, что в ряде случаев, повышения точности выработки навигационных и динамических параметров можно достичь, используя особенности движения объекта, на котором установлен измерительный модуль, например, учет неизменности координат объекта, нулевой скорости движения и его угловой ориентации. В частности, под такую постановку задачи оценивания параметров попадают задачи калибровки БИНС на неподвижном стенде, координаты которого известны, а также использование ZUPT-технологий (zero velocity update technology), использующих для коррекции показаний БИНС информации о нулевой скорости при периодических остановках объекта [4]. В рамках такого же использования особенностей движения может быть рассмотрена задача оценивания при неизменности углов ориентации объекта.

Отметим, что учет особенностей движения объекта, как правило, производится путем обработки разностных измерений вида:

$$\begin{aligned}
 Z_{\phi}(t) &= \phi(t) - \phi_0(t) = \Delta\phi(t) \\
 Z_{\lambda}(t) &= \lambda(t) - \lambda_0(t) = \Delta\lambda(t) \\
 Z_H(t) &= H(t) - H_0(t) = \Delta H(t) \\
 Z_{V_n}(t) &= V_N(t) - 0 = \Delta V_N(t) \\
 Z_{V_e}(t) &= V_E(t) - 0 = \Delta V_E(t) \\
 Z_{V_h}(t) &= V_H(t) - 0 = \Delta V_H(t)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $\phi$  – широта;  $\lambda$  – долгота,  $H$  – высота объекта,  $V_N$ ,  $V_H$ ,  $V_E$  – северная, вертикальная и восточная составляющие вектора скорости соответственно, выработанные по информации от измерительного модуля.

При этом погрешности выработки параметров, например, БИНС описываются с использованием девяти уравнений: трех уравнений для погрешностей угловой ориентации, трех уравнений для погрешности скорости и трех уравнений для погрешности координат [3, с. 190]:

$$\begin{aligned}
 \dot{\alpha} &= \omega_{\chi g} \beta - \omega_{Zg} + \left( U \cos \phi + \frac{V_{Zg}}{R \cos^2 \phi} \right) \Delta \phi + \frac{\Delta V_{Zg}}{R} \operatorname{tg} \phi - \varepsilon_{\gamma g} \\
 \dot{\beta} &= \omega_{\gamma g} \chi - \omega_{\chi g} \alpha - \frac{\Delta V_{\chi g}}{R} - \varepsilon_{Zg} \\
 \dot{\chi} &= \omega_{Zg} \alpha - \omega_{\gamma g} \beta + \frac{\Delta V_{Zg}}{R} - U \Delta \phi \sin \phi \\
 \Delta \dot{V}_{\chi g} &= n_{\gamma g} \beta - n_{Zg} \alpha - \Delta a_{\chi g}^k + \delta a_{\chi g} \\
 \Delta \dot{V}_{\gamma g} &= n_{Zg} \chi - n_{\chi g} \beta - \Delta a_{\gamma g}^k + \delta a_{\gamma g} \\
 \Delta \dot{V}_{Zg} &= n_{\chi g} \alpha - n_{\gamma g} \chi - \Delta a_{Zg}^k + \delta a_{Zg} \\
 \Delta \dot{\phi} &= \frac{\Delta V_{\chi g}}{R} \\
 \Delta \dot{\lambda} &= \frac{\Delta V_{Zg}}{R \cos \phi} + \frac{V_{Zg}}{R \cos^2 \phi} \Delta \phi \\
 \Delta \dot{h} &= \Delta V_{\gamma g}
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\alpha$  – азимутальная ошибка БИНС;  $\beta, \chi$  – ошибки построения вертикали,  $\Delta V_{Ng}, \Delta V_{Hg}, \Delta V_{Eg}$  – составляющие погрешности приборной скорости,  $\Delta \phi, \Delta h, \Delta \lambda$  – погрешности выработки координат;  $\omega_{Ng}, \omega_{Hg}, \omega_{Eg}$  – проекции угловой скорости связанной с объектом системы координат на оси географической системы;  $U$  – угловая скорость Земли;

Погрешности чувствительных элементов описываются уравнениями: [3]

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{\chi g} &= \varepsilon_{\chi} \cos \theta \cos \psi + \varepsilon_{\gamma} (\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \theta) + \varepsilon_{Z} (\sin \gamma \cos \psi \sin \theta + \cos \gamma \sin \psi) \\
 \varepsilon_{\gamma g} &= \varepsilon_{\chi} \sin \theta + \varepsilon_{\gamma} \cos \gamma \cos \theta - \varepsilon_{Z} \sin \gamma \sin \psi \\
 \varepsilon_{Zg} &= -\varepsilon_{\chi} \cos \theta \sin \psi + \varepsilon_{\gamma} (\cos \gamma \sin \psi \sin \theta + \sin \gamma \cos \psi) + \varepsilon_{Z} (\cos \gamma \cos \psi - \sin \gamma \sin \psi \sin \theta) \\
 \delta a_{\chi g} &= \delta a_{\chi} \cos \theta \cos \psi + \delta a_{\gamma} (\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \theta) + \delta a_{Z} (\sin \gamma \cos \psi \sin \theta + \cos \gamma \sin \psi) \\
 \delta a_{\gamma g} &= \delta a_{\chi} \sin \theta + \delta a_{\gamma} \cos \gamma \cos \theta - \delta a_{Z} \sin \gamma \sin \psi \\
 \delta a_{Zg} &= -\delta a_{\chi} \cos \theta \sin \psi + \delta a_{\gamma} (\cos \gamma \sin \psi \sin \theta + \sin \gamma \cos \psi) + \delta a_{Z} (\cos \gamma \cos \psi - \sin \gamma \sin \psi \sin \theta)
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $\varepsilon_{\chi}, \varepsilon_{\gamma}, \varepsilon_{Z}$  – ошибки показаний ДУС;  $\varepsilon_{\chi g}, \varepsilon_{\gamma g}, \varepsilon_{Zg}$  – проекции ошибок ДУС на оси географического трехгранника;  $\delta a_{\chi}, \delta a_{\gamma}, \delta a_{Z}$  – ошибки показаний акселерометров;  $\delta a_{\chi g}, \delta a_{\gamma g}, \delta a_{Zg}$  – проекции ошибок акселерометров на оси географического трехгранника.

Применительно к таким измерениям может быть применена процедура коррекции в дискретные моменты времени.

С учетом (1) модель измерений может быть записана в матричных обозначениях:

$$Z(k) = H(k)X(k) + V(k) \tag{4}$$

С учетом дискретности получения измерений дальнейшая процедура оценивания с использованием ФКТ связана с известными процедурами перехода к описанию ошибок БИНС в дискретном виде:

$$X(k) = \Phi(k)X(k-1) + \Gamma(k)w(k) \tag{5}$$

с последующим использованием процедур дискретного фильтра Калмана.

Однако, что при такой обработке часть информации теряется, так как предполагается, что измерения проводятся в дискретные моменты времени с шагом дискретизации  $\Delta T$ . При этом на этом интервале происходит накопление ошибок. Очевидно, что точность оценивания можно повысить, уменьшая интервал дискретности  $\Delta T$ .

Суть предлагаемой альтернативы такому подходу, рассматриваемой в работе, является использование в уравнениях, описывающих ошибки построения вертикали, точных значений внешней

скорости, равных нулю и координат, известных с некоторыми систематическими ошибками. При этом уравнения ошибок примут вид:

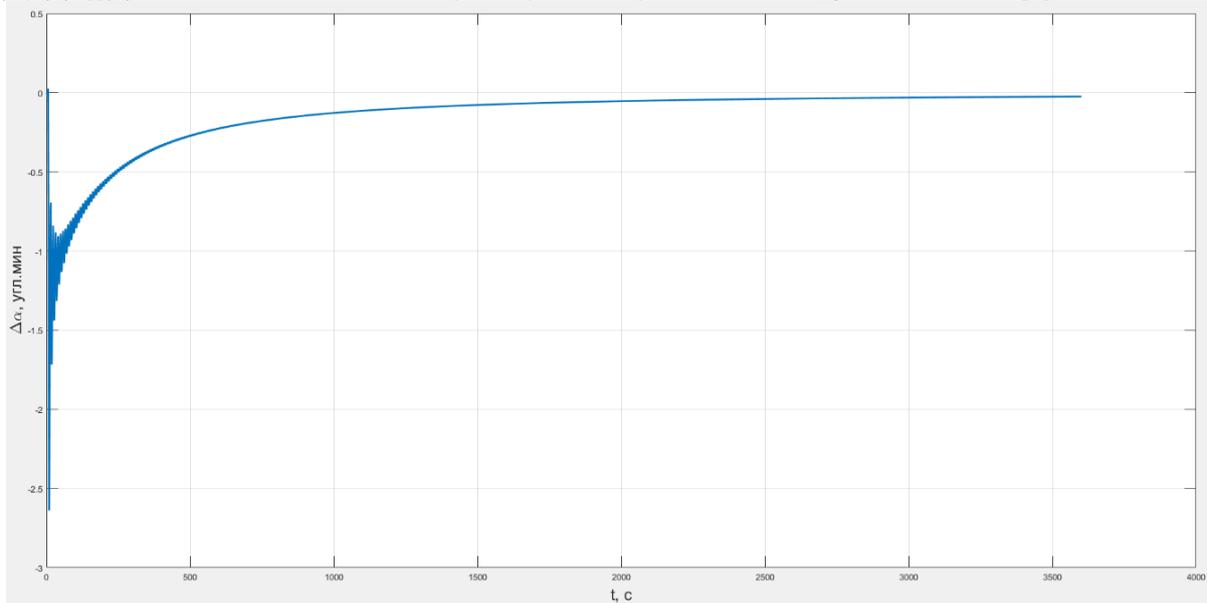
$$\begin{aligned}\dot{\alpha} &= \omega_{Ng}\beta - \omega_{Eg}\chi + \left( U \cos \phi + \frac{V_E}{R \cos^2 \phi} \right) \Delta\phi - \varepsilon_{Hg} \\ \dot{\beta} &= \omega_{Hg}\chi - \omega_{Ng}\alpha - \varepsilon_{Eg} \\ \dot{\chi} &= \omega_{Eg}\alpha - \omega_{Hg}\beta - U \sin \phi \Delta\phi - \varepsilon_{Ng} \\ \Delta\dot{\phi} &= 0\end{aligned}\quad (6)$$

Можно показать, что в этом случае задача оценивания сводится к обработке показаний акселерометров, модель которых имеет вид:

$$\begin{aligned}n_{\chi g}(t) &= g\beta \cos(\psi) + \delta a_{\chi g} \\ n_{\gamma g}(t) &= -g \\ n_{z g}(t) &= -g\chi \sin(\psi) + \delta a_{z g},\end{aligned}\quad (7)$$

что существенно упрощает решение задачи оценивания и позволяет повысить точность решения задачи оценивания за счет уменьшения дискретности фильтра Калмана. В пределе точность построения вертикали и азимутального направления будет определяться элементами ковариационной матрицы непрерывного фильтра Калмана.

Целью оценочного моделирования является сравнение по точности подхода с использованием уравнений (2), (3) и формированием измерений (1) и подхода, описываемого уравнениями (6) и измерениями (7) отражающих особенности движения на известной широте  $\phi=60^\circ$  при отклонении вертикали  $\alpha(0)=\beta(0)=\chi(0)=30'$  с использованием параметров измерительного модуля ICM-20689 [5].



*Разность среднеквадратического отклонения параметра  $\alpha$ , рассчитанного для двух моделей ошибок БИНС*

На рисунке представлена разность результатов моделирования, получаемых в ковариационных каналах дискретного фильтра Калмана, настроенного на модель (2), (3) и измерения (1) и непрерывного фильтра, настроенного на модель (6) и измерения (7). В модели непрерывного фильтра используются дифференциальные уравнения, вычисляемые с дискретностью, обеспечивающей устойчивость вычислений в фильтре. Интервал времени наблюдения равен  $T = 3600$  с, дискретность равна  $\Delta T=1$  с и  $\Delta T = 0,0001$  с соответственно.

В заключении можно сделать вывод о правильности выбранного подхода, так как результаты моделирования показывают, что полная (2), (3) и упрощенная (6) модели близки по значениям друг к другу, однако время, затрачиваемое для вычисления параметров азимутальной ошибки и ошибок по-

строения вертикали, описываемых с помощью уравнений (6) на 18,4% меньше. Данное значение получено на основе времени выполнения программ моделирования работы алгоритмов фильтрации в среде Matlab. Направлением дальнейших исследований является рассмотрение случая с неизменной ориентацией объекта.

### Библиографический список

1. Анучин О. Н., Емельянцева Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / Под общей ред. чл.-кор. РАН В. Г. Пешехонова. СПб., 1999. 357 с.
2. Бабич О. А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512 с.
3. Матвеев В. В, Распопов В. Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб: ГИЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.
4. Sang Kyeong Park a Zero Velocity Detection Algorithm Using Inertial Sensors for Pedestrian Navigation Systems/Sang Kyeong Park, Young Soo Suh // Sensors. 2010. № 10. С. 9163–9178.
5. Техническая документация на модуль ICM-20689. URL: <http://www.invensense.com/wp-content/uploads/2017/08/ICM-20689-v2.2-002.pdf> (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 629.7.052

**М. И. Пурцакин**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. В. Небылов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОТЫ ПОЛЁТА НИЗКОЛЕТЯЩЕГО АППАРАТА**

Низколетящий аппарат (НЛА) – неводоизмещающий морской транспортный аппарат, использующий в полете экранный эффект (WIG-эффект). Он состоит в увеличении подъемной силы крыла и уменьшении аэродинамического сопротивления при движении вблизи подстилающей поверхности. В этом случае действие воздушной подушки в пространстве между крылом и поверхностью добавляется к механизму формирования подъемной силы из-за различных скоростей воздушного потока над верхней и под нижней поверхностями крыла (рис. 1).

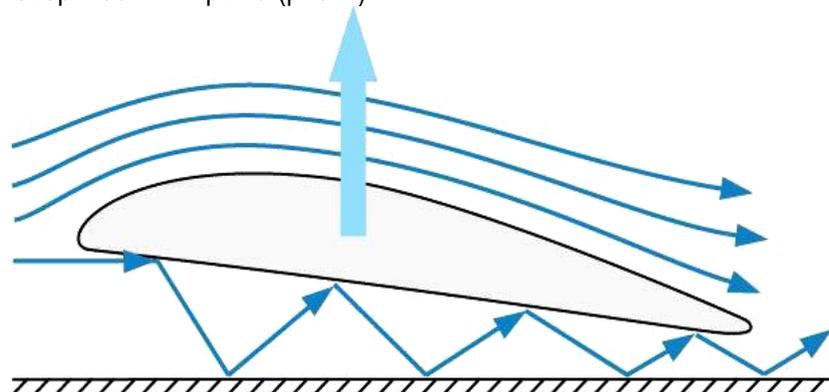


Рис. 1. Возникновение воздушной подушки под крылом за счет переотражения набегающего воздушного потока

Экранный эффект начинает проявляться с высоты:

$$h \leq \frac{bV}{2v}, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина крыла (хорда крыла);  $V$  – скорость звука;  $h$  – высота полёта;  $v$  – скорость полёта.

В данной работе объект исследования – НЛА, движущийся в условиях интенсивного морского волнения, и канал измерения высоты. Предметом исследования является влияние характеристик морского волнения и параметров движения на высоту НЛА. Задача исследования состоит в повышении качества измерения высоты.

Актуальность задачи повышения качества измерения высоты полёта обусловлена тем, что в зоне действия экрана продольная устойчивость НЛА может нарушиться из-за зависимости аэродинамической силы от высоты движения, а также вследствие отсутствия какого-либо запаса высоты при движении в зоне действия экрана, грубые ошибки управления, например, из-за отказа какого-либо элемента автоматики, приводят к очень быстрому развитию аварийной ситуации.

Выдвигаемые требования к качеству измерения высоты полета НЛА следующие: диапазон измерения высоты  $h$  – от 0 до 15 м, допустимая величина погрешности – 0,1, допустимая постоянная времени измерителя – 0,05 с.

Высота движения НЛА отсчитывается от среднего уровня морской поверхности и небольшой области под ним. Средним уровнем морской поверхности считается усредненная высота волн на участке, дальнейшее увеличение которого практически не сказывается на его средней высоте.

Высота НЛА измеряется методом активной локации, излучающей сигнал в электромагнитном или ультразвуковом частотных диапазонах.

Электромагнитные позиционные высотомеры являются более универсальными. Они разделяются на радиовысотомеры, световые (лазерные) и гамма-высотомеры (изотопные).

Работа радиовысотомера на метровых высотах над морем имеет ряд существенных особен-

стей, которые определяют режим работы и точность радиовысотомера. Внутриприёмные шумы практически не оказывают влияния на работу радиовысотомера малых высот, но возникает необходимость специальных мер, уменьшающих влияние переотражений от корпуса ЛА.

Наиболее распространены радиовысотомеры непрерывного излучения с частотной модуляцией по пилообразному, синусоидальному или случайному законам.

Лазерные высотомеры благодаря очень узкому лучу (порядка 1 угл. мин.) позволяют измерять расстояние с высокой точностью. Их минусами являются ненадежная работа в плохих метеорологических условиях и как правило импульсный режим работы.

Специально предназначены для измерения малых высот изотопные высотомеры, построены по принципу измерения сцилляционным счетчиком интенсивности  $\gamma$ -лучей, отраженных от подстилающей поверхности. Достоинством изотопного высотомера является простота его конструкции, но у него достаточно много существенных недостатков, один из которых заключается в том, что при работе над невзволнованной поверхностью он работает достаточно точно, но при работе над сильно взволнованным морем появляются дополнительные ошибки, также его работа зависит от внешних условий.

Точность любого локационного измерителя сильно зависит от отражательных свойств подстилающей поверхности. Поскольку подстилающая поверхность не является зеркальной, в отраженном сигнале присутствует не только когерентная составляющая и помимо инструментальных ошибок и методических погрешностей остальные параметры тоже флуктуируют, в том числе и информационный. Это снижает точность проводимых измерений.

Выходной сигнал локационного высотомера при низковысотном полёте над взволнованным морем представляется как:

$$x_{лв}(t) = h(t) + v_{лв}(t) = h(t) + y(t) + \Delta h(t) \quad (2)$$

где  $h(t)$  – истинная высота НЛА относительно среднего уровня взволнованной поверхности;  $v_{лв}$  – результирующая погрешность измерения  $h(t)$ ;  $y(t)$  – ордината точки профиля волны, находящейся в центре облучаемой высотомером площадки;  $\Delta h(t)$  – погрешность высотомера.

Для повышения точности и помехоустойчивости измерения необходимо произвести комплексирование системы, т. е. совместно использовать несколько независимых источников информации [2]. При оценке текущей высоты полёта  $h(t)$  могут быть использованы показания следующих датчиков: трёх локационных высотомеров и трёх инерциальных датчиков, предназначенных для измерения абсолютного линейного ускорения НЛА (рис. 2).

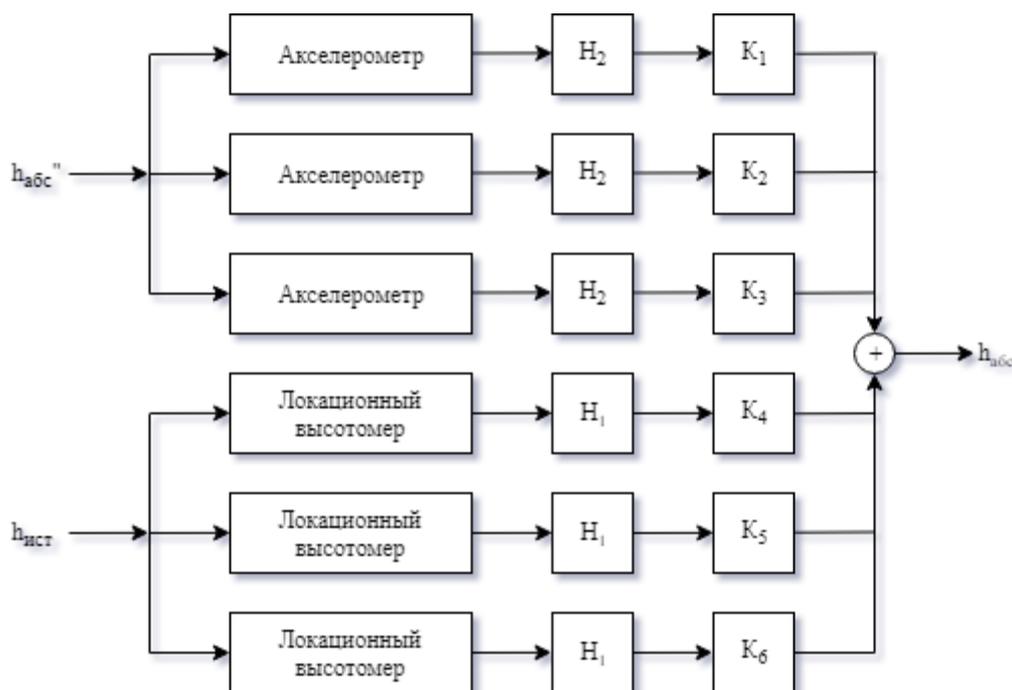


Рис. 2. Схема измерения абсолютной высоты НЛА

Комплексирование датчиков в единую измерительную систему призвано обеспечить результирующую точность измерений, превышающую достижимую при раздельном использовании датчиков. Это возможно за счёт подавления в выходном сигнале каждого датчика спектральных составляющих, искажённых шумами измерения в более сильной мере, чем в выходных сигналах других датчиков. Преимущество комплексированных систем в точности проявляется тем сильнее, чем больше различие в спектральных характеристиках погрешностей датчиков.

В качестве основной меры точности измерений в зависимости от особенностей их использования целесообразно принять либо максимальную (практически максимальную), либо среднеквадратичную величины асимптотически несмещенной оценки [3]. Максимальная величина ошибки наиболее хорошо характеризует качество измерения высоты НЛА, поскольку недопустимо большие отклонения этой координаты от номинала.

Проведём математическое моделирование измерительной системы. Моделируемые дискретные передаточные функции были найдены на основе дискретной аппроксимации оптимальных непрерывных прототипов [1]. Искомые передаточные функции полных каналов измерителя  $H_i(s)$ ,  $i = 1...6$  в общем случае выглядят следующим образом:

$$H_i(s) = \frac{b_{i0} + b_{i1}s + \dots + b_{in}s^n}{1 + a_1s + \dots + a_ns^n}, \quad (3)$$

где  $\{a_i\}_1^n, \{b_{ij}\}_{j=0}^n \in [0, \infty)$  – коэффициенты, подлежащие определению.

Учитывая единообразие знаменателей передаточных функций  $H_i(s)$  целесообразно реализовать вычислитель как единую схему фильтра с 6 входами, не разделенную на обособленные каналы. Фильтр должен выделять погрешность одного датчика из её аддитивной смеси с погрешностью другого датчика.

Результаты моделирования изображены на рис. 3, где  $\psi$  – направление движения;  $\sigma_e$  – среднеквадратическое отклонение;  $V$  – скорость полета.

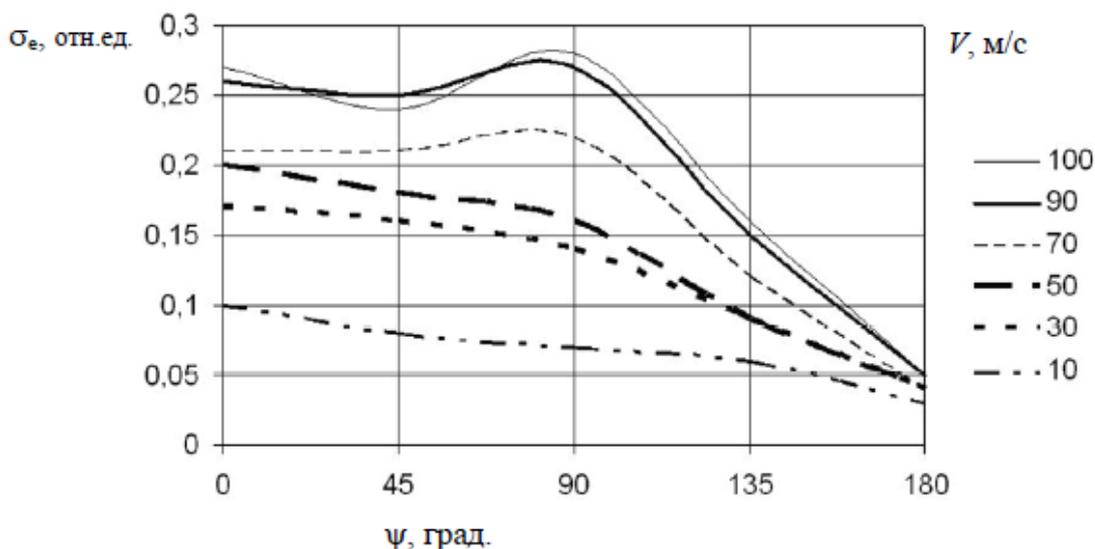


Рис. 3. Результаты моделирования системы измерения параметров полета

По результатам моделирования видно, что точность измерений в значительной степени зависит от взаимного расположения векторов скорости объекта и генерального направления распространения волн. Также видно, что в определенном диапазоне высот волн трехпроцентной обеспеченности система с постоянными коэффициентами обеспечивает более низкую точность по сравнению с требуемой. Такой случай недопустим по критериям безопасности и требует наложения ограничений на направление движения аппарата или запрет полета в условиях повышенного морского волнения, поскольку это может привести к аварийной ситуации.

**Библиографический список**

1. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. СПб.: ГУАП, 1994. 308 с.
2. Бесекаерский В. А., Елисеев Л. Л., Небылов А. В. Радиоавтоматика. М.: Высш. шк., 1985. 271 с.
3. Бесекаерский В. А., Небылов А. В. Робастные системы автоматического управления. М.: Наука, 1983. 240 с.

УДК 629.7.054.07

**Е. В. Пяткина**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. В. Небылов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ НИЗКОЛЕТЯЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

На сегодняшний день существует проблема высокоточного измерения и стабилизации скорости низколетящего летательного аппарата (НЛА) при условии, что данный ЛА должен двигаться с постоянной скоростью. В качестве НЛА рассматривается экраноплан, поскольку в настоящее время планируется его возвращение на российский рынок транспортных услуг. Для обеспечения полета экраноплана с высоким аэродинамическим качеством, необходимо лететь на предельно низкой высоте над подстилающей морской поверхностью. Выбранная высота полета зависит от многих факторов, в том числе от скорости. В результате ставится задача стабилизации путевой скорости с высокой точностью.

Комплексирование разнотипных датчиков в единую интегрированную измерительную систему позволяет обеспечить высокую точность измерения за счет подавления в выходном сигнале каждого из них спектральных составляющих, наиболее искаженных шумами измерения. В данной работе для измерения путевой скорости рассматривается комплексирование доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС) и акселерометра с продольной осью чувствительности. Актуальность данной работы заключается в том, что применяется робастный подход, при условии, что для погрешности доплеровского датчика известна спектральная плотность, а для погрешности акселерометра известна максимальная величина дисперсии первой производной скорости. Робастный метод позволяет разработать методику синтеза по дисперсиям или по максимальным значениям производных входных воздействий, предусматривающую получение наивысшей или же заданной точности [1,2,3].

Измеряемый параметр полета – скорость  $g(t)=V(t)$  имеет дисперсию, ограниченную сверху случайной составляющей скорости  $Dg$ , при некотором математическом ожидании, принятом за условный нуль шкалы скорости и не влияющим на точность измерения [4, 5]. Критерием оптимальности является минимум дисперсии суммарной ошибки измерений. Заданные характеристики измеряемого параметра и погрешностей датчиков не позволяют сделать заключение о целесообразности исключения одного из датчиков из состава измерителя.

При известной дисперсии первой производной акселерометра и равномерном уровне спектральной плотности датчика ДИСС, ставится задача оптимизации по критерию минимума дисперсии суммарной ошибки, которая имеет аналитическое решение.

Передаточная функция полного канала измерителя  $\{H_i(s)\}_{i=1}^l$  в общем виде записываем следующим образом:

$$H_i(s) = \frac{b_{i0} + b_{i1}s + \dots + b_{in}s^n}{1 + a_1s + \dots + a_n s^n} \quad (1)$$

где  $\{a_j\}_1^n, \{b_{ij}\}_{j=0}^n \in [0, \infty)$  – коэффициенты, подлежащие определению.

Подлежащие параметрической оптимизации передаточные функции канала ДИСС  $H_1(s)$ , канала акселерометра  $H_2(s)$ , а также передаточная функция измеряемого параметра и динамической ошибки  $H_3(s)$ , имеют следующий вид:

$$H_1(s) = b_{10} / A(s) \quad (2)$$

$$H_2(s) = b_{21}s / A(s) \quad (3)$$

$$H_3(s) = 1 - H_1(s) - H_2(s) = [1 - b_{10} + (a_1 - b_{21})s] / A(s), \quad (4)$$

где  $A(s) = 1 + a_1s$ .

Передаточная функция  $H_3(s)$  вводится для того, чтобы учесть неинвариантность системы. Она связывает измеряемую скорость с динамической ошибкой измерения.

Целевую функцию оптимизации по критерию минимума дисперсии суммарной ошибки принимаем в виде:

$$\bar{D}_e = D_{e1} + \bar{D}_{e2} + \bar{D}_{eg} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $D_{e1}$  – дисперсия ошибки по каналу ДИСС;  $\bar{D}_{e2}$  – дисперсия ошибки по каналу акселерометра;  $\bar{D}_{eg}$  – дисперсия динамической ошибки.

Поскольку спектральная плотность погрешности ДИСС  $S_{v1}$  известна, величина  $D_{e1}$  выражается следующей формулой:

$$D_{e1} = S_{v1} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(j\omega)|^2 d\omega = \frac{b_{10}^2 S_{v1}}{2a_1} \quad (6)$$

Запишем формулы для дисперсий остальных составляющих ошибки [2]:

$$\bar{D}_{e2} = b_{21}^2 D_{v2}, \quad (7)$$

$$\bar{D}_{eg} = D_g [\max\{1 - b_{10}, 1 - b_{21} / a_1\}]^2 \quad (8)$$

Подвергнув аналитическому исследованию на минимум полученную функцию трех переменных  $D_e(a_1, b_{10}, b_{21})$ , были найдены выражения для оптимальных значений параметров измерителя:

$$a_1^0 = \left( \frac{S_{v1}}{4D_{v2}} \right), \quad b_{10}^0 = \left( \frac{3D_{v2}^{1/3} S_{v1}^{2/3}}{4^{2/3} D_g} + 1 \right)^{-1}, \quad b_{21}^0 = a_1^0 b_{10}^0. \quad (9)$$

Рассмотрим случай, когда экраноплан должен лететь с постоянной скоростью 100 м/с. Для вычисления оптимальных значений параметров, были использованы следующие числовые значения:

$$S_{v1} = 1 \text{ м}^2/\text{с}, \quad D_{v2} = 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}^4, \quad D_g = 0,5 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

Оптимизация параметров дает следующие результаты:

$$a_1^0 = 6,30 \text{ с}, \quad b_{10}^0 = 0,808 \text{ с}, \quad b_{21}^0 = 5,09 \text{ с}, \quad \bar{D}_e(a_1^0, b_{10}^0, b_{21}^0) = 0,124 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

На основе полученных результатов была построена имитационная модель в среде Simulink пакета MATLAB, представленная на рис. 1.

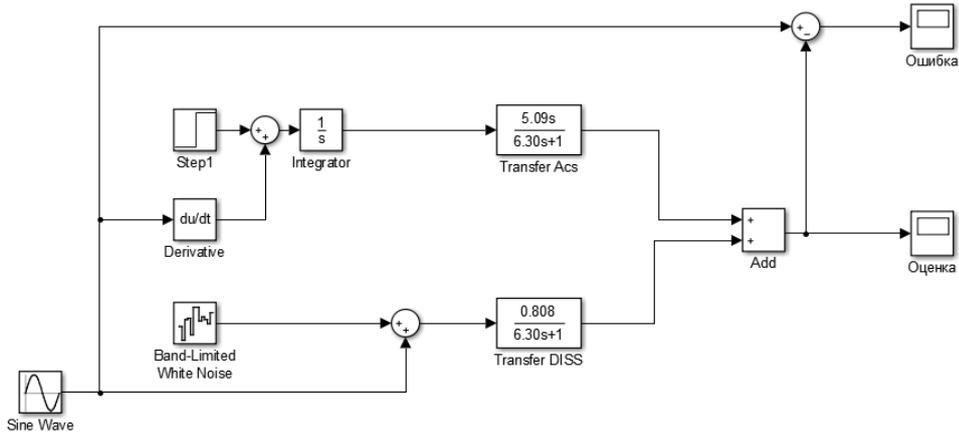


Рис. 1. Имитационная модель

В результате моделирования были получены графики оценки и ошибки скорости, представленные на рис. 2 и 3.

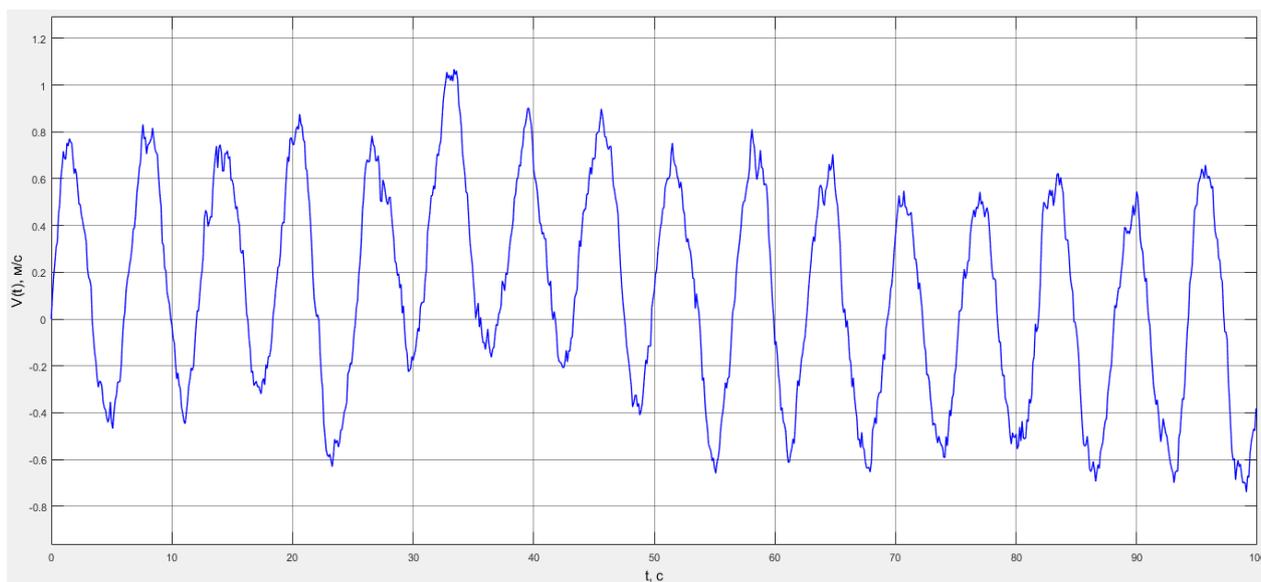


Рис. 2. График оценки скорости

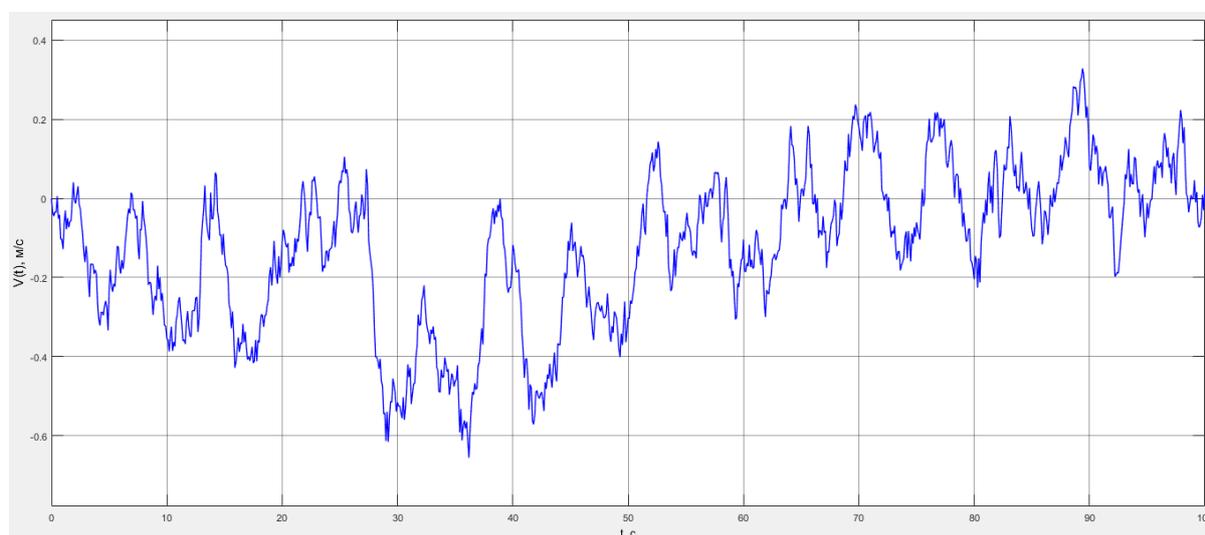


Рис. 3. График ошибки скорости

Полученная в результате оптимизации системы минимально возможная величина дисперсии суммарной ошибки имеет следующее значение:  $D_e = 0,124 \text{ м}^2/\text{с}^2$  ( $\sigma_e = 0,36 \text{ м/с}$ ), которая характеризует потенциальную точность системы при неизвестной спектральной плотности погрешности акселерометра.

### Библиографический список

1. Бесекерский В. А., Небылов А. В. Робастные системы автоматического управления. М.: Наука, 1983. 240 с.
2. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. СПб., 1994.
3. Небылов А. В. Гарантирование точности управления. М: Наука. Физматлит, 1998. 304 с.
4. Nebylov A. V. Aerospace Sensors. New York: Momentum Press, 2013. 350 p.
5. Nebylov A., Watson J., Editors. Aerospace Navigation Systems. UK: Wiley & Sons, 2016. 392 p.

УДК 044.438

**А. С. Сатуленков**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Ю. П. Иванов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

В современном приборостроении сохраняется тренд на замену кнопочных пультов управления на сенсорные. Например, такие пульты уже устанавливаются в вертолеты: КА-52, КА-226, самолеты: Т-50, СУ-33. Для таких пультов требуется современные методы графических интерфейсов. В этом докладе будет представлен обзор модулей, которые удалось добавить в один из таких пультов.

Большое количество модулей в современных пультах управления дает возможность осуществлять функцию дополнительного резервирования индикаторов. Допустим, если из строя выходят и основная панель индикации, и резервные приборы, то через меню можно вызвать дополнительный резервный индикатор. Это в свою очередь повысит безопасностью самолетовождения.

При разработке графического интерфейса было применено 2 программы одна для изображения внешнего вида, другая для реализации алгоритмов работы графического интерфейса на языке с++.

Для создания иллюстрации и текстур был выбран векторный редактор Adobe Illustrator. Работа в векторном редакторе была необходима для того чтобы сохранить возможность изменяя разрешения текстур в дальнейшем. Это позволяет обеспечить некоторую универсальность при разработке. Иначе говоря, при переносе изображения на индикатор с более большим разрешением не нужно будет все рисовать по-новому, достаточно просто сохранить в нужном разрешении. Это экономит немало времени, так как на изображения полного интерфейса со всеми сопутствующими элементами может уйти неделя, а вот растровые редакторы такой возможности не дают.

Для реализации алгоритмов работы графического интерфейса был выбран язык С++, так как он подходит для решения данной задачи по параметрам: закрытый код, является языком верхнего уровня, и позволяет использовать все возможные сторонние библиотеки, которые позволяют вести работу с графическими файлами.

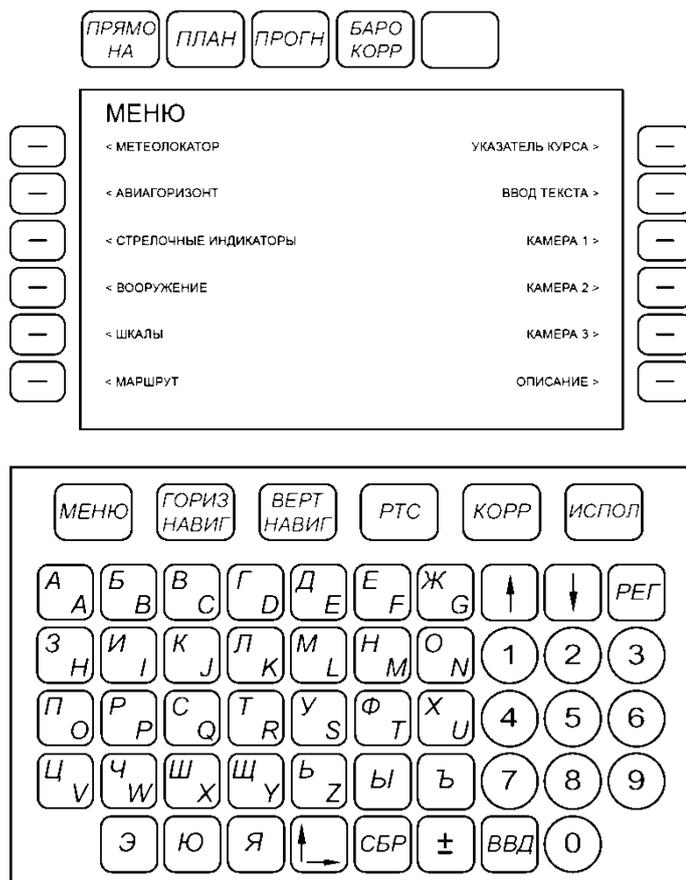
Среда разработки QtCreator. Так как при разработке таких интерфейсов рекомендуется соблюдать условие переносимости на другие операционные системы, то для работы будут использоваться библиотеки Qt. Все исходные файлы библиотек находятся на сайте разработчика и при желании их можно собрать любым компилятором, такой же принцип применён и к Linux системам. Разработчик собирает операционную систему самостоятельно под нужную архитектуру процессора.

Пример используемых библиотек. В интерфейсе реализованы не только индикаторы отображающие данные с датчика, но также есть возможность отображения видео потока с камер расположенных на борту летательного аппарата. Камера, показывающая обстановку сзади, камера, показывающая обстановку снизу.

Пространство интерфейса выполнено таким образом, что позволяет работать с несколькими модулями отображения, а именно:

- Модуль работы с двумерной графикой;
- Модуль работы с трех мерной графикой, который включает в себя возможность рендеринга в реальном времени, это может применяться для отображения рельефа местности.
- Модуль синтеза речи;
- Модуль приема видео потока

При этом все модули не нагружают процесс работы центрального процессора, так как модули запускаются не одновременно, а по вызову оператора. При этом методе возникает задержка при вызове определенного модуля, но она не критична и не превышает 0,0035 с (среднее значение запуска модулей 0,0015 с).



Окно разработанной программы

Распределение потоков, в интерфейсе выполняется 2 постоянных потока и N потоков, запускаемых по необходимости. 1й поток предназначен для отображения графического окна. 2й поток предназначен для приема, обработки, распределения данных с датчиков. Так же можно выделить 3й отдельный постоянный поток для фильтрации данных. Но следует помнить, что каждый лишний поток – это нагрузка на центральный процессор и оперативную память поэтому, остальные потоки запускаются по мере необходимости, они в большей степени выделены для индикации подвижных элементов интерфейса (стрелки, шкалы и т. д.)

Использование библиотек Qt не ограничивает разработчика. А, то есть, возможность добавления своих или сторонних библиотек остается.

Графический интерфейс, представленный на рисунке, принимал участие в выставках (Армия 2018, Международная промышленная выставка и т.д.).

Исследованный метод позволил составить принципы построения графических интерфейсов, что в свою очередь дало возможность написать несколько программ для наглядного отображения данных с измерителей.

### Библиографический список

1. Шлее М. Qt 5.3 Профессиональное программирование на C++. СПб., 2013.
2. Колисниченко Д. Н., Аллен Питер В. Linux. Полное руководство. СПб.: Наука и техника, 2006.
3. Прахов А. А. Самоучитель Blender. СПб.: БХВ-Петербург, 2016.

УДК 623.746.4-519

Ю. В. Сухарев

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Влияние параметров датчиков на качество управления – очень важный аспект в исследовании систем навигации и ориентации. В современном авиастроении большую ставку делают на малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБПЛА). Частью системы управления МБПЛА являются акселерометры. Их параметры оказывают существенное влияние на качество управления МБПЛА.

В ходе исследования был поставлен ряд задач: рассмотрение датчиков в составе системы автоматического управления (САУ) МБПЛА, исследование влияния параметров данных датчиков (точность, быстродействие, робастность) на качество управления МБПЛА, сравнение зарубежных и отечественных аналогов.

В данной работе будет приведено влияние параметров измерителей разностного давления и баровысотометров, для этого было проведено моделирование математических моделей измерителя разностного давления ПМТ-4М российского производства и зарубежного измерителя разностного давления MPXV-5004G для канала скорости. Для канала высоты были использованы баровысотометры P-30 (P-31) отечественного производства и ICP-10100 зарубежного производства.

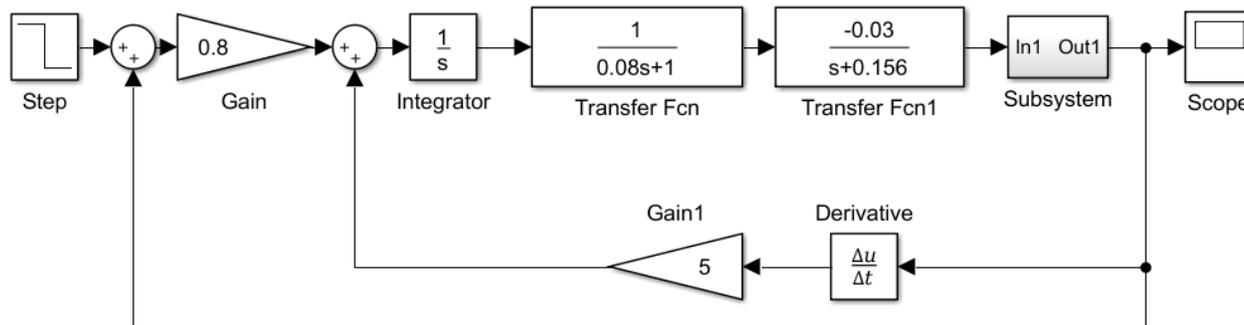


Рис. 1. Схема моделирования управления МБПЛА по каналу скорости

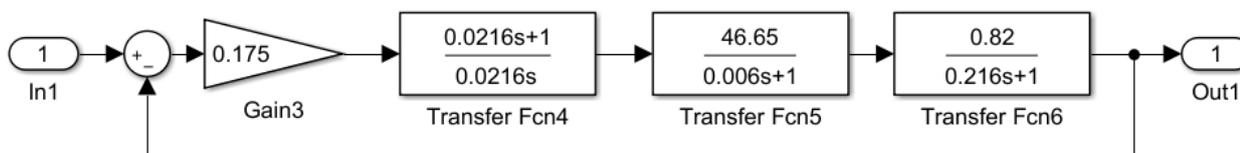


Рис. 2. Схема моделирования измерителя разностного давления ПМТ-4М

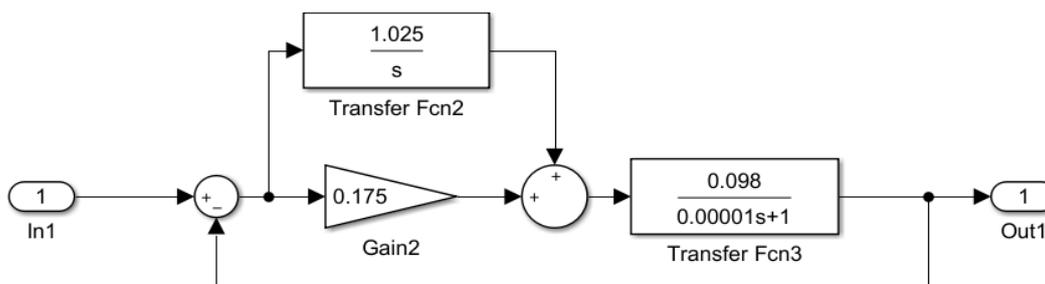


Рис. 3. Схема моделирования измерителя разностного давления MPXV-5004G

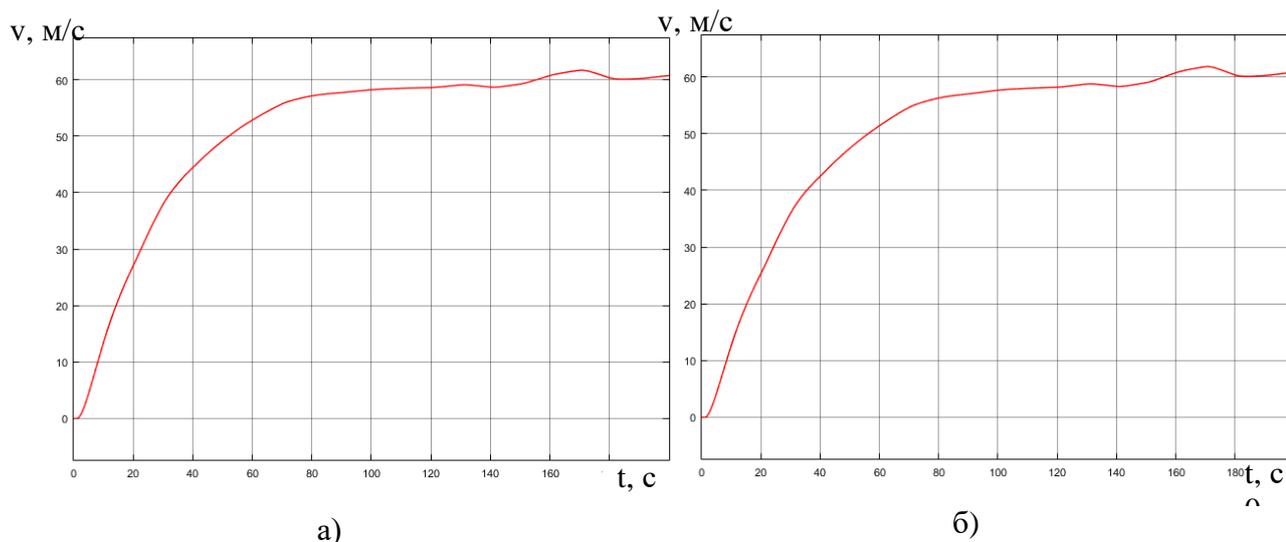


Рис. 4. Графики переходного процесса (ПП):  
а) MPXV-5004G, б) ПМТ-4М

Исходя из графиков переходного процесса (рис. 4б) можно сделать вывод, что система имеет высокую точность (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 97 секунд, что быстрее чем у отечественного аналога) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса не увеличилась, однако сама его форма стала гораздо хуже. Точность САУ также следует из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим в значение 1 – процесс продолжает оставаться в зоне  $\pm 6\%$ .

Исходя из графиков переходного процесса (рис. 4а) можно сделать вывод, что система имеет высокое быстродействие (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 98 секунд) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса не увеличилась, однако сама его форма стала хуже. Точность САУ также следует из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим – процесс продолжает оставаться в зоне  $\pm 8\%$ .

Далее рассмотрим барометрические высотомеры (рис. 5–7).

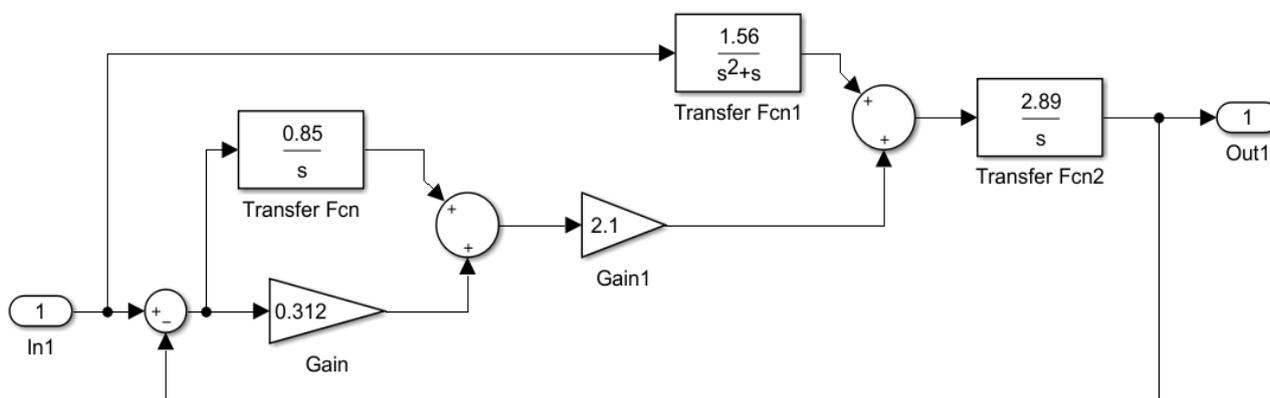


Рис. 5. Схема моделирования отечественного баровысотомера P-20(P-21).

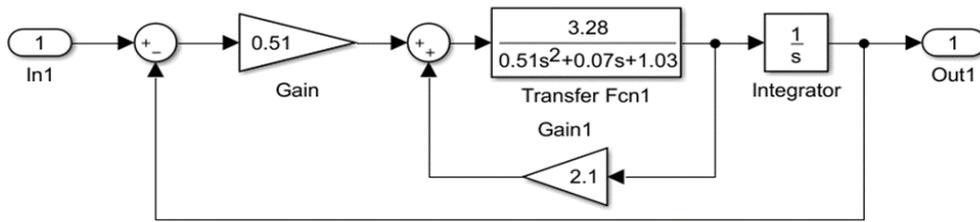


Рис. 6. Схема моделирования зарубежного баровысотомера ICP-10100

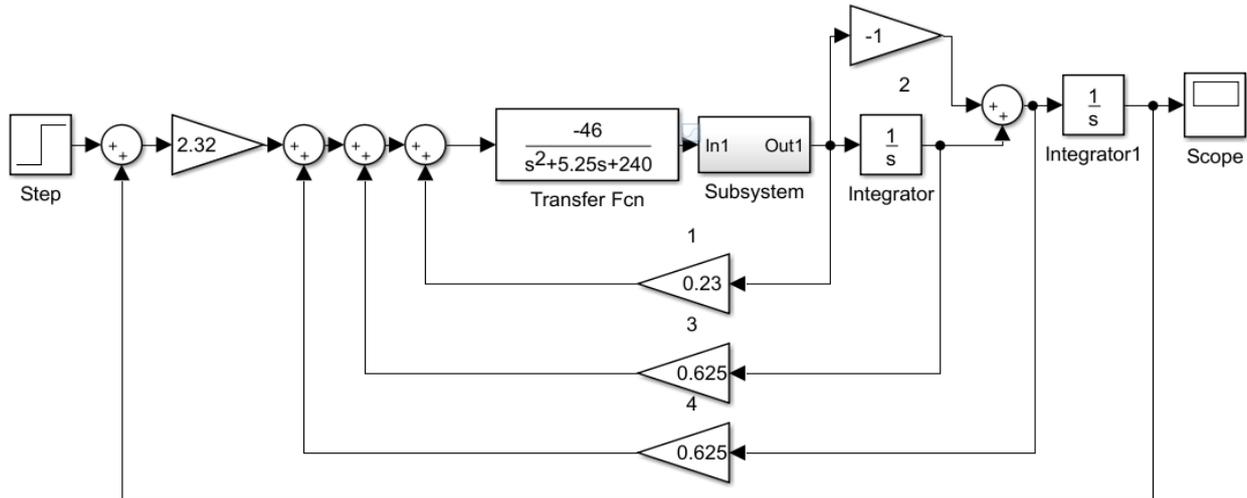


Рис. 7. Схема моделирования канала высоты

Исходя из графиков переходного процесса (рис. 8а) можно сделать вывод, что система имеет высокое быстродействие (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 30 минут) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса не увеличилась, однако сама его форма стала хуже. Точность САУ также следует из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим – процесс продолжает оставаться в зоне  $\pm 3\%$ .

Исходя из графиков переходного процесса (рис. 8б) можно сделать вывод, что система имеет высокую точность (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 32 минуты, что медленнее, чем у зарубежного аналога) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса не увеличилась, однако сама его форма стала гораздо хуже. Точность САУ также следует из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим в значение 1000 – процесс продолжает оставаться в зоне  $\pm 9\%$ .

В данной работе была исследовано влияние параметров датчиков, входящих в состав САУ МБПЛА на качество управления. Были проведены сравнения отечественных и зарубежных аналогов измерителей разностного давления, сравнения переходных процессов, АЧХ и ФЧХ данных датчиков. По итогам моделирования можно сказать, что отечественный аналог уступает зарубежному, однако является более дешевым, и для выполнения многих задач, где не требуется повышенная точность, подойдет лучше из соображений экономии средств на производстве МБПЛА.

Также видно, что отечественные и зарубежные аналоги имеют высокую устойчивость к ошибкам (помехозащищенность). О малой величине запаздывания САУ свидетельствует, не смотря на наличие ошибки, длительность перехода в устоявшийся режим. Время перехода с учётом ошибки увеличилось на 2 секунды. Согласно графикам АЧХ и ФЧХ, можно сделать выводы об устойчивости системы. Наклон составляет  $-20$  дБ/Дек, что является свидетельством устойчивости апериодического звена 1-го порядка, которое описывает объект управления.

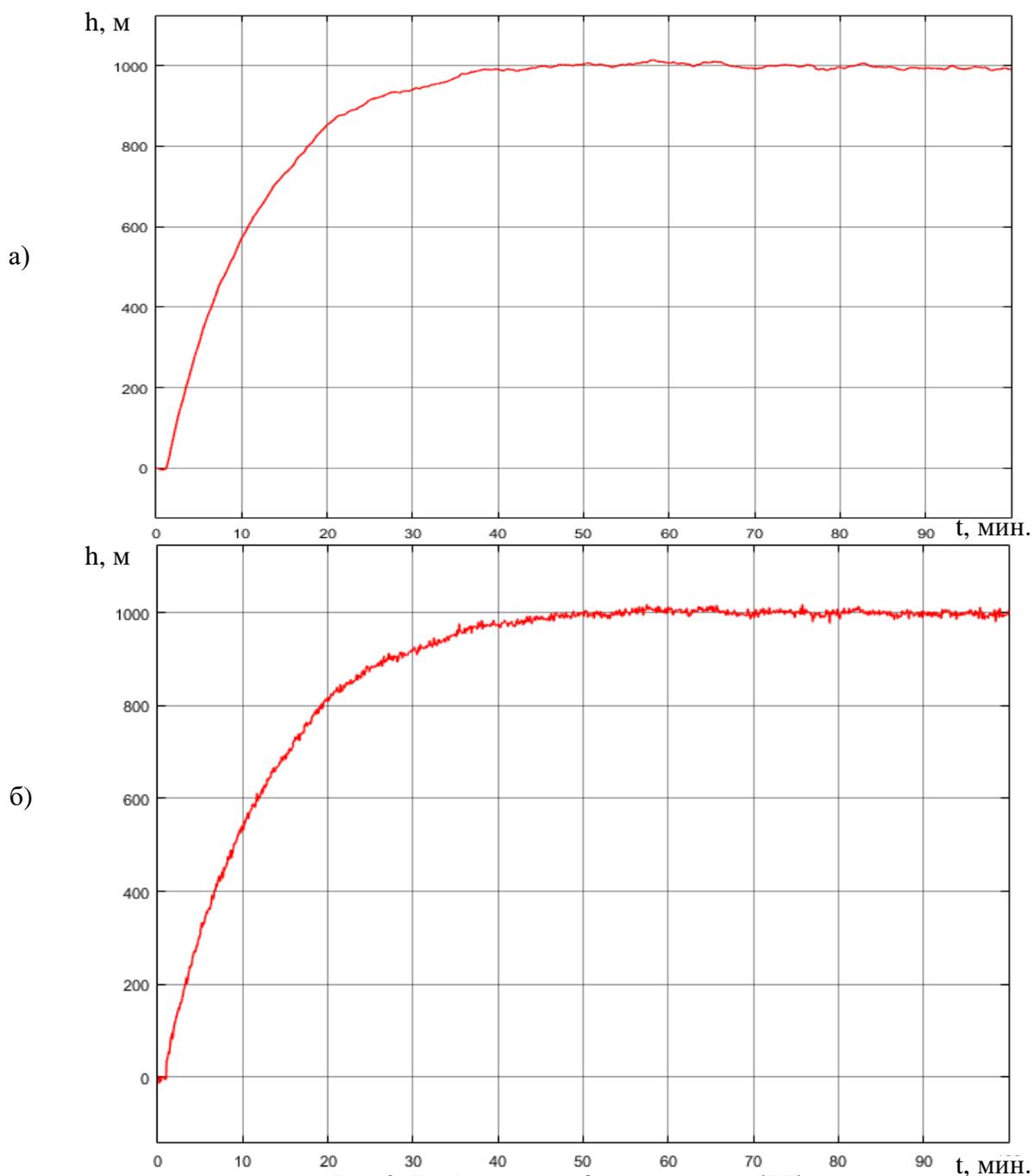


Рис. 8. Графики переходного процесса (ПП):  
а) ICP-10100, б) P-20(P-21).

САУ с зарубежным измерителем разностного давления, исходя из графиков переходных процессов (рис. 6) является более точным, чем САУ с отечественным датчиком.

#### Библиографический список

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛейн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Litres, 2017. 350 с.

УДК 656.02

**Ю. Ф. Азизова**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель**АНАЛИЗ ОПЫТА РАБОТЫ МОСКОВСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Малое кольцо Московской железной дороги – железнодорожная линия в Москве, также известная как Московская кольцевая железная дорога, частично объединенная с метрополитеном. Московское центральное кольцо (далее МЦК) является совместным проектом ГУП «Московский метрополитен», ОАО «РЖД» и АО «МКЖД».

Кольцо, на котором организовано движение электричек МЦК имеет длину 54 км, располагается вблизи исторического центра города, окружая Садовое кольцо.

Движение на Московской Окружной железной дороге было официально открыто 19 июля 1908 года. Приоритет был отдан грузовым перевозкам. Через полгода после корректировки тарифной сетки были открыты станции для пассажиров. В 1934 году дорога, входившая тогда в состав Московско-Курской железной дороги, была выделена в самостоятельную и перестала осуществлять перевозки пассажиров. Пассажирские перевозки на дороге возобновились лишь только к концу 1980-х. В 2001 было принято решение по преобразованию дороги в скоростную трассу с возможностью пересадки на метро и радиальные направления. Строительство транспортно-пересадочных узлов началось в 2014.

С открытием МЦК 10 сентября 2016 года в столице появился новый вид общественного транспорта – городские электрички. Время, за которое можно проехать всё кольцо – 84 минуты с учетом остановок.

В 2016 году за первый месяц работы (сентябрь-октябрь) лидером по пассажиропотоку стала станция «Площадь Гагарина», которую использовало 25,8 тыс. человек/сутки [1].

3 апреля 2019 года, в один из дней закрытия нескольких станций Сокольнической линии, был установлен очередной рекорд пассажиропотока – поезда МЦК перевезли 543 тысячи пассажиров в сутки [4].

С учетом регулярности движения электричек и оплаты проезда МЦК создает с метрополитеном единое пространство и единый проездной, вследствие чего пересадка на метро и обратно бесплатна в течение 90 минут с момента его приобретения. На МЦК действуют все городские транспортные льготы (социальная карта москвича, студенческий тариф) и существующие тарифы по карте «Тройка», билетам «Единый» и «90 минут».

На окружной линии курсируют поезда нового поколения «Ласточка» в режиме работы метрополитена: в часы «пик» электричку не придется ждать более 5 минут (7:30–11:30, 16:00–21:00 в будние дни; 12:30–18:00 в выходные), а обычный интервал движения составляет 10 минут.

Метрополитен позиционирует кольцо как 14-ю линию. Маршрут движения на схемах обозначается белым цветом с красной окантовкой, что представлено на рис. 1.

Всего на МЦК 31 станция, с каждой из которых можно осуществить пересадку на наземный городской пассажирский транспорт. На 21 станции можно пересесть на 11 линий метрополитена, на 10 станциях можно пересесть на пригородные электрички [1].

На рис. 2 представлена схема московского центрального кольца с указанием всех транспортно-пересадочных узлов.

Подвижной состав на МЦК представлен скоростными поездами нового поколения «Ласточка», способными развивать скорость до 160 км/ч, но на МЦК не разгоняются быстрее 80 км/ч.

Первоначально в качестве подвижного состава для городской электрички планировалось использовать электропоезда ЭГ2Тв «Иволга», разработанные в 2014 году Тверским вагоностроительным заводом. В качестве альтернативы рассматривался вариант использования электропоездов ЭС2Г «Ласточка» разработки немецкого концерна «Siemens» с локализацией производства на отечественном заводе Уральские локомотивы.

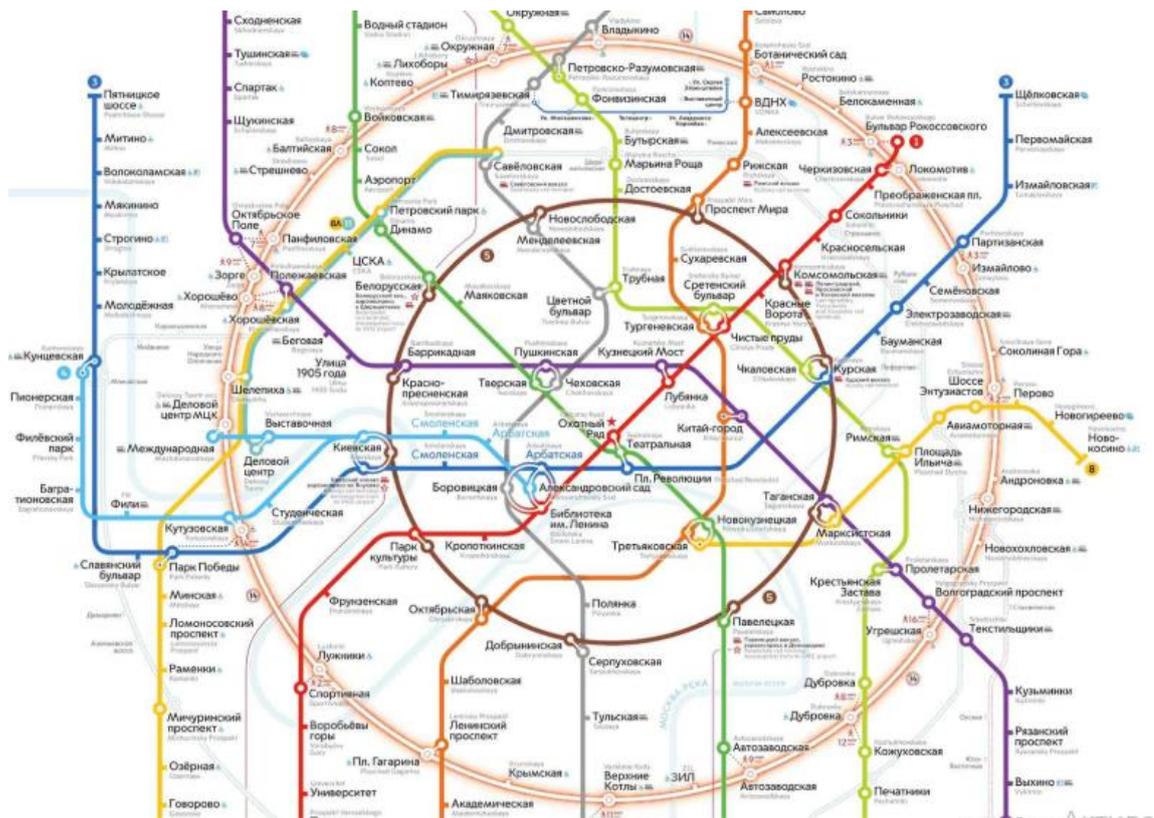


Рис. 1. Обозначение МЦК на схеме метрополитена



Рис. 2. Схема Московского центрального кольца

По состоянию на конец 2015 года обе модели не участвовали в конкурсе: первая не прошла испытания, вторая показалась компании слишком дорогой для закупки и эксплуатации [2]. Однако окончательный выбор подвижного состава для МКЖД был сделан в пользу электропоездов «Ласточка» [3,8].

Всего на МЦК в сутки курсируют в рабочие дни 177 пар поездов «Ласточка», а в выходные – 150 пар.

Общая длина состава 130 м. Каждый поезд состоит из 5-ти бестамбурных вагонов общей вместимостью около 1200 пассажиров. Каждый вагон поезда оснащён двустворчатыми дверьми по две с каждой стороны вагона. Ширина дверного прохода составляет 1300 мм, высота – 2050 мм. Установленные по контуру дверей уплотнительные профили обеспечивают герметичность, не пропуская пыль и влагу. Пассажиры двери оборудованы кнопками на внешней и внутренней стороне вагона для открытия дверей по требованию пассажира в режиме готовности открытия по требованию [1].

По уровню комфорта эти поезда превосходят некоторые вагоны метро: они оснащены туалетами, системой климат-контроля, бесплатным wi-fi, в них есть розетки для подзарядки мобильных устройств. Большим преимуществом таких электричек является то, что они тише и экологичнее предшествующих версий.

График работы МЦК совпадает с графиком работы метрополитена, а именно с 5:30 до 01:00 открыты платформы для пассажиров. Движение поездов осуществляется с 5:45.

С запуском МЦК в столице произошло перераспределение пассажиропотоков из центральной части города в срединную, вследствие чего:

- снизилось количество пассажиров в метро и частично освободились дороги;
- городские территории стали ближе;
- в центре города стало свободнее.

Автомобильные пробки являются одной из самых актуальных проблем. В часы пик город практически «парализован». Единственным выходом является пересадка на метро. Вследствие чего метрополитен перегружен. Благодаря открытию МЦК пассажирам дается альтернатива выбора новых маршрутов, снижается нагрузка на метро и вокзалы в центре города.

Население Санкт-Петербурга составляет 5,5 млн человек, из-за этого проблема перегруженности общественного транспорта и метрополитена становится актуальной.

Развитие транспортной инфраструктуры это важнейшая задача современного мегаполиса. Город активно растёт, увеличивается население и количество автомобилей и, конечно, должно пропорционально возрастать количество дорог. В Петербурге на сегодняшний день наблюдается существенное отставание темпов развития транспортной инфраструктуры от темпов развития самого города.

Проанализировав работу МЦК, можно прийти к выводу: стоит развивать радиальные железнодорожные направления в Санкт-Петербурге, заимствуя график движения электропоездов на МЦК, тем самым разгружая нагрузку транспортной сети города.

В подтверждение тому высказывание главы «Российских железных дорог» Олега Белозерова на встрече с врио губернатора Санкт-Петербурга Александром Бегловым: «РЖД прорабатывает возможность строительства железнодорожного кольца в Петербурге, которое сможет объединить все существующие направления и сделает передвижение по городу более комфортным для жителей» [10].

### Библиографический список

1. В 2016 году запланировано открытие регулярного пассажирского движения электропоездов (городская электричка) по Малому кольцу МЖД. URL: <http://mkmzd.ru> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Пассажирское движение по Московскому центральному кольцу начнется 10 сентября. URL: <https://www.gudok.ru/news/?ID=1346605> (дата обращения: 01.03.2019).
3. Рокировка на кольце. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1325140&archive=2016.01.27> (дата обращения: 01.03.2019).
4. Пассажиропоток МЦК обновил рекорд, достигнув 543 тысяч человек за сутки. URL: <https://www.interfax.ru/moscow/656862> (дата обращения: 01.03.2019).
5. Новый вид городского транспорта: чем МЦК отличается от метро и электрички. URL: <https://www.m24.ru/articles/ehlektrichki/12092016/116039> (дата обращения: 01.03.2019).

6. Протяжённость кольца – 54 км, с учётом примыкающих веток и подъездных путей – 145 км. URL: <http://mkmzd.ru/> (дата обращения: 01.03.2019).
7. «Иволги» и «Ласточки» не долетели до МКЖД: их заменят простые электрички, NewsMSK». URL: [http://www.newsmsk.com/article/03dec2015/simple\\_train.html](http://www.newsmsk.com/article/03dec2015/simple_train.html) (дата обращения: 01.03.2019).
8. Пассажиры Малого кольца МЖД будут перевозить «Ласточки». URL: <https://tass.ru/ekonomika/2614556> (дата обращения: 01.03.2019).
9. Самой популярной станцией МЦК у пассажиров стала «Площадь Гагарина». URL: <https://stroj.mos.ru/news/samoi-populiarnoi-stantsii-mtsk-sriedi-passazhirov-stala-ploshchad-gagharina> (дата обращения: 01.03.2019).
10. РЖД считает возможным строительство железнодорожного кольца в Санкт-Петербурге. URL: <https://nevnov.ru/657886-rzhd-schitaet-vozmozhnym-stroitelstvo-zheleznodorozhnogo-kolca-v-sankt-peterburge> (дата обращения: 01.03.2019).

УДК 656(075.8)

**Н. И. Байрамов**

студент кафедры системного анализа и логистики

**С. А. Андронов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ВОПРОСЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПЕРЕВОЗОК НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ В РОССИИ**

Авиаперевозки являются самыми быстрыми, безопасными и комфортными видами как пассажирских, так и грузовых перевозок при помощи воздушных судов. Но в тоже время самыми дорогими. Несмотря на это спрос на авиаперевозки очень велик, и постоянно увеличивается, что, в свою очередь, делает воздушный транспорт самым преимущественным направлением развития в гражданской авиации.

Воздушный транспорт играет большую роль в пассажирских перевозках (особенно в международных). При выполнении грузовых перевозок ему отводится второстепенные значения. Значительная роль воздушного транспорта в перевозке пассажиров объясняется большими расстояниями, недостаточной развитостью транспортной инфраструктуры в некоторых районах страны, особенно на востоке страны.

Воздушный транспорт является универсальным, так как при перевозке грузов и пассажиров может преодолевать как средние, так дальние дистанции. В среднем 40% объема пассажирских перевозок производится на долю воздушного транспорта в междугородном сообщении [1]. Такой процент роли воздушного транспорта связан с гигантскими размерами территории нашей страны и с низкой обеспеченностью некоторых регионов другими видами транспорта.

Краткая характеристика воздушного транспорта России.

– Инфраструктура: базовая – в собственности государства

– Операторы: около 250 авиакомпаний и около 500 аэропортов

– Характерная сфера деятельности – перевозки наиболее дорогостоящих и срочных грузов на дальние и средние расстояния

– транспортное обслуживание регионов, не имеющих наземного доступа

Доля – 3,0% объема, 0,76% грузооборота, среднее расстояние доставки – 2950 км (для сравнения автотранспорт – 26 км).

Износ основных производственных фондов на воздушном транспорте составляет 50%

Особенности воздушного транспорта.

**Плюсы:**

- Наибольшая скорость сообщения
- Гибкость в организации доставки
- Высокая надежность
- Рост числа специализированных грузовых компаний
- Развитие сети линий и грузовых терминалов в аэропортах

**Минусы:**

- Высокая себестоимость и тарифы
- «Привязанность» к системе аэропортов
- Ограниченные возможности прямого сообщения

По типу авиаперевозки делятся на:

- 1) Попутные перевозки
- 2) Простые перевозки
- 3) Сборные перевозки
- 4) Челночные перевозки

Попутные перевозки используют свободный транспорт. Основным преимуществом подобных перевозок является низкая стоимость.

Простые перевозки предполагают перевозку основного груза к пункту назначения. Владелец перевозимого груза является заказчик.

Сборные перевозки используются тогда, когда на складе скопилось достаточное количество грузов. Подобная транспортировка является доступной.

Челночные перевозки в воздушно-транспортной сети используют для перевозки пассажиров, но особенность подобного вида перевозок в том, воздушный транспорт возвращается в пункт назначения уже без пассажиров.

В общем объеме перевозок магистральными видами транспорта на долю воздушного транспорта в России на данный момент приходится лишь седьмая часть всего пассажирского оборота и очень незначительная часть грузоперевозок, но стоит заметить, роль этого вида транспорта в пассажирских перевозках в России значительна, что объясняется большими расстояниями и недостаточной развитостью инфраструктуры некоторых районов страны. В ряде регионов России, особенно на востоке, воздушный транспорт является единственным магистральным видом транспорта, обеспечивающим связь регионов с остальной частью страны [1].

Перед воздушным транспортом стоят следующие задачи:

- 1) Полная безопасность полётов.
- 2) Регулярность воздушных сообщений.
- 3) Улучшение технико-экономических показателей.
- 4) Улучшение технологии производственных процессов наземного обслуживания пассажирских и грузовых перевозок.

В решении этих кардинальных задач существенное место принадлежит организации воздушных перевозок.

Организация воздушных перевозок – это новая отрасль науки. Она ставит перед собой цель разработки оптимальной технологии производственных процессов обслуживания пассажирских и грузовых перевозок. Также ставится задача координации взаимодействия средств комплексной механизации и автоматизации, обслуживающих технологические операции в аэровокзалах аэропортов, городских агентствах воздушных сообщений и грузовых комплексах аэропортов. Задачами организации перевозок являются также выбор оптимального состава средств механизации и автоматизации, определение рациональных параметров машин и оборудования и обоснование оптимальных режимов их работы.

В большинстве своем инновационные решения, которые предлагают отечественные предприятия отрасли, ориентированы на интересы производителя, а не на потребителя. При этом условия, связанные с созданием, освоением и распространением новшеств, диктует сам иноватор, снижая, таким образом, значимость и позицию потребителя услуг. Однако сами по себе новшества – не конечная цель, а лишь средство удовлетворения потребностей потребителя.

Чтобы приблизить производителя новых услуг к клиенту и оценить способность инноваций удовлетворять определенные потребности, необходим подход, ориентированный именно на потребителя. При данном подходе инновационный процесс рассматривается как передача знаний (научных, технических) в сферу удовлетворения нужд потребителей. Продукт-новшество при этом превращается лишь в носителя технологии. Это позволяет не только более точно реагировать на ожидания и запросы клиентов рынка воздушных перевозок, но и снизить процент неудачных нововведений, которые происходят из-за связи между показателями новшества и будущими потребностями рынка. Пример ориентации на потребителя – это внедрение бюджетными авиакомпаниями обслуживания пассажиров по принципу меню или уникальной системы онлайн-аукционов электронных билетов, переход на электронный документооборот при грузовых авиационных перевозках, использование баркодов, появление на рынках авиакомпаний-дискаунтеров – это авиакомпании нового типа, ставшие популярными во всем мире в последние годы. Они принесли новый подход к бизнесу авиаперевозок, выраженный формулой «низкие расходы – низкие тарифы – высокий спрос – высокие доходы».

Переход на инновационные технологии документооборота должен преобразить мировую отрасль авиаперевозок, однако требует значительных усилий для внедрения. Российским авиакомпаниям, грузоотправителям и государственным органам нужно активно действовать, чтобы не отстать от мировых тенденций.

В современной отрасли пассажирских и грузовых перевозок разработка и реализация стратегических инноваций актуальна и своевременна. На базе ведущих транспортных университетов и отрас-

левых научно-исследовательских институтов нужно создать научно-образовательные центры по инновационному развитию воздушного транспорта. При этом их поддержка на уровне федерального и регионального правительства существенно ускорит формирование в России инновационного подхода к развитию перспективной авиатранспортной системы. Именно такой подход позволит решить важные проблемы и достичь высоких экономических результатов.

Задача совершенствования организации перевозок относится и числу первоочередных для всех авиакомпаний, причем задача повышения скоростного эффекта в том числе за счет всемерного сокращения затрат наземного времени является ключевой. Успешное решение этой задачи обеспечивает участие воздушного транспорта в экономии общественно-полезного времени населения, что представляет особую ценность в современных условиях развития России.

#### **Библиографический список**

1. Место и роль воздушного транспорта в транспортной системе России. URL: <https://studfiles.net/preview/1665464/page:18> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Майоров Н. Н., Фетисов В. А., Гардюк А. Н. Технологии и методы моделирования пассажирских перевозок на воздушном транспорте. СПб.: ГУАП, 2014. 215 с.
3. Авиaperезовки. Понятие и классификация. URL: [https://vuzlit.ru/1154951/aviaperезovki\\_ponyatie\\_klassifikatsiya](https://vuzlit.ru/1154951/aviaperезovki_ponyatie_klassifikatsiya) (дата обращения: 01.03.2019).

УДК 656.02

**А. В. Башкина**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА РЕТРОСПЕКТИВНОГО ОПЫТА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

В настоящее время остро стоит проблема развития общественного транспорта в России. Все это связано с быстрым приростом населения, увеличением количества личного транспорта, также устаревшего подвижного состава, узких транспортных магистралей, не рассчитанных на большой пассажиропоток и грузопоток.

Анализ опыта зарубежных стран в проведении мероприятий, направленных на обеспечение комфорта и доступности на общественном пассажирском транспорте, показывает какие возможно провести мероприятия по улучшению транспортной ситуации в России. Для этого рассмотрим ситуацию в странах ЕС, Китая, США и др.

Начнем с дорожного строительства, являющегося важнейшей частью транспортной системы. Сказанное наиболее актуально для России, территория которой исчисляется десятками тысяч километров. При этом состояние дорог в России за всю её многолетнюю историю оставляло желать лучшего, и с каждым годом оно приобретает новые негативные оттенки. В России строительство дорог первоначально развивалось несколькими отличными от Запада путями в связи с недостатком легкодоступных для разработки каменных материалов.

Ежегодные работы по реконструкции, прокладка новых трасс и ограничение движения тяжелого грузового транспорта не приносят должных результатов – каждую весну после схода снега дороги снова покрываются выбоинами и трещинами, мешая комфортному передвижению автомобилей, общественному транспорту по городской транспортной сети и междугородним магистралям. Итак, основными и достаточными мерами для наведения порядка на дорогах России могут стать: замена пучнистого грунта достаточно большим слоем щебня, предотвращающим промерзание дорог зимой; создание надежной системы дренажа, способной быстро и эффективно отвести избытки воды в случае крупного весеннего паводка или прорыва придорожного трубопровода; прокладка геотекстиля для защиты щебневого слоя от засорения, именно такими технологиями пользуются зарубежные страны. Раскрывая данную проблему, хотелось бы привести рейтинг стран по качеству дорог. Эксперты Всемирного экономического форума проехали по дорогам 144 стран мира, чтобы выбрать лучшие. К сожалению, из 144 возможных мест Россия заняла в итоговом списке лишь 136-ю позицию [1,2].

Рейтинг возглавивших стран по качеству дорог:

1. Франция: великолепное качество покрытия, наличие освещения в темное время суток, обилие станций технического обслуживания – все это делает дороги Франции лучшими в мире. Причем, эксперты отмечают, что качество платных и бесплатных дорог практически ничем не различается.

2. ОАЭ; строительство дорог в Эмиратах ведется по заимствованным у немцев технологиям, кроме того, практически все магистрали в стране прекрасно освещены в темное время суток. В стране существуют многочисленные круговые многоуровневые развязки, для проектирования и строительства которых привлекаются лучшие инженеры со всего мира.

3. Сингапур: уровень развития инженерно-строительных технологий в стране заслуживает отдельной похвалы. Не стала исключением и дорожно-строительная отрасль. На прокладку и ремонт автодорог в Сингапуре выделяются огромные средства, что позволяет поддерживать высочайшее качество, несмотря на интенсивность движения.

4. Швейцария: все дороги платные. При въезде в страну необходимо приобрести виньетку. Проезд через некоторые туннели оплачивается дополнительно, ведь содержание дороги, проложенной через гору, требует больших затрат.

5. Австрия: особенности местности, высокогорные альпийские участки, которые быстрее прочих приходят в негодность, доставляют много проблем. Однако со своей задачей ответственные службы справляются с успехом – дороги в Австрии отличаются высочайшим качеством.

6. Гонконг: имеет высочайший уровень развития инфраструктуры, в том числе и транспортной. На строительство и поддержание качества дорог в Гонконге не жалеют средств, полагая, транспортная сеть играет не последнюю роль в привлекательности региона для частного партнерства.

7. Финляндия: поддержание качества дорог в стране, где температура зимой ежегодно опускается до минус 40 градусов, – не простая задача. Для обнаружения скрытых дефектов, которые могут со временем разрушить покрытие, применяются тепловизионные камеры.

8. Германия: возраст большей части немецких автобанов превышает 30 лет. Для проверки состояния автодорог немцы уже несколько лет применяют новейшую технологию лазерного сканирования [3].

Отметим, что состояние дорожно-транспортной инфраструктуры важно для роста и уровня и качества жизни населения. Несмотря на многообразие видов транспорта, от их технической характеристики, безопасности, протяженности и возможностей доступа зависит выбор конкретного индивидуума.

При этом важно, если в странах, например, ЕС, большое значение играет протяженность дорог, где площадь территории государства сопоставима с аналогичной соседнего, то для России более значимым представляется показатель степени охвата населенных пунктов, или степень доступности. При их невысоком значении для страны может остро встать вопрос об её экономической и территориальной целостности, а также приведет к затруднению процессов координации между субъектами. Напротив, если степень охвата территории всеми видами транспорта максимальна, то обозначенный фактор не будет играть существенной роли, оставляя при этом открытым вопрос поддержания соответствующего уровня качества каждой категории. При этом, как показывает практика, за счет многообразия видов транспорта на одной территории, увеличивается и конкуренция, которая порождает снижение платы за проезд [4]. В связи со сказанным важным представляется перенимать и модернизировать под собственные реалии передовой зарубежный и лучший отечественный опыт строительства дорог и привлекающей инфраструктуры, а также расширять доступность нескольких видов транспорта для большинства населенных пунктов, увеличивая их транспортную мобильность.

Также для России характерны следующие составляющие системной проблемы:

- дефицит финансирования для развития рельсового транспорта;
- несбалансированность распределения транспортной работы между видами транспорта;
- не долгосрочность планирования развития транспортной сети;
- нормативно-правовое ограничение применения механизмов государственно-частного партнерства (ГЧП), что не позволяет привлекать инвесторов;
- логистические узлы;
- аварийность на дорогах;
- проблема оплаты общественного транспорта.

Среди ключевых проблем отрасли наиболее социально значимой является проблема аварийности. За последние 10 лет в дорожно-транспортных происшествиях погибли 312,5 тыс. человек. Дорожные аварии наносят экономике России значительный ущерб. За последние 4 года он составил 2,2–2,6% ВВП страны. Свыше 75% всех дорожно-транспортных происшествий связаны с нарушениями Правил дорожного движения водителями транспортных средств.

Сохраняющаяся сложная обстановка с аварийностью во многом определяется постоянно увеличивающейся диспропорцией между приростом числа автомобилей и приростом протяженности улично-дорожной сети, не рассчитанной на современные транспортные потоки. Существующая в городах дорожно-транспортная инфраструктура фактически соответствует уровню 60–100 автомобилей на 1 тыс. жителей, в то время как современный уровень обеспечения автомобилями уже превысил 200 автомобилей на 1 тыс. жителей [5].

Следствием такого положения является ухудшение условий движения, заторы, увеличение расхода топлива, ухудшение экологической обстановки и рост количества дорожно-транспортных происшествий. Изучение особенностей современного дорожно-транспортного травматизма показывает, что происходит постепенное увеличение количества происшествий, в которых пострадавшие получают тяжелые повреждения. Неэффективная организация работы по оказанию медицинской помощи пострадавшим является одной из основных причин высокой смертности на дорогах.

Транспортная политика в последнее время заняла особое место в системе социальной политики развитых государств. Транспортные показатели стали определяться в направлении определения технических данных и ориентироваться на степень качества жизни, способствуя тем самым повышению общенациональной эффективности экономики. Как пример этого можно привести провинциальный город в Бельгии – Хассельт – известный за пределами страны, потому что с 1997 г. в автобусах не используются билетные автоматы, не работают контролеры и кондукторы. Общественный автотранспорт в городе уже долгое время остается бесплатным. Причиной тому послужила реконструкция дорог вокруг города, которые оказались перекрыты, и автомобилисты не смогли использовать свой личный транспорт. Чтобы избежать протестов, власти решили на год сделать проезд в общественном транспорте бесплатным. При этом стала наблюдаться тенденция предпочтения общественного транспорта личному автомобилю, и было решено продлить эксперимент. Бесплатный проезд финансируется за счет средств регионального правительства, оплачивающего 75% всех расходов на общественный транспорт. Оставшиеся 25% должны поступать от средств продажи билетов, но идут из городского бюджета. Сейчас общественным транспортом в год пользуются 4 млн чел., при том, что еще в 1996 г. им пользовались 360 тыс. чел. В целом в городе население составляет 70 тыс. чел., поэтому приведенные цифры очень существенны.

Транспортная система Лондона также в свое время пережила транспортные реформы. Еще 15 лет назад транспортная ситуация сильно напоминала транспортную систему в Москве – заторы на дорогах, перегруженное метро, растущее количество мигрантов. Мэру Кену Ливингстону удалось поменять ситуацию в лучшую сторону путем принятия радикальных решений. За первый год проведения реформ казна города стала больше на 80 млн ф. ст. за счет сбора штрафов с нарушителей, поэтому число машин в центре города сократилось на 40%. Причиной отказа от личного транспорта в пользу общественного для многих лондонцев послужил рост проездных цен. Так как, такая тенденция была предопределена, власти использовали средства, полученные от транспортных штрафов и проездной платы на совершенствование городской инфраструктуры, организацию транспортного движения. С 2002 г. было решено сделать метрополитен в городе частно-муниципальным. Его владельцем, как и прежде, оставался муниципалитет, а его обслуживанием занимались частные сервисные компании. Кроме того, в Лондоне была создана уникальная система штрафов. Все дорожно-транспортные нарушения были разделены на пять групп в зависимости от степени тяжести. В первой группе максимальный штраф составлял 200 ф. ст., в пятой – 5 тыс. ф. ст. (штраф за вождение в нетрезвом виде). В городе были приняты меры в части парковочных мест. На улице разрешалась только платная парковка – 4 ф. ст. в час – при условии того, что автомобиль будет находиться на одном и том же месте не более 2 часов. До прихода Ливингстона на пост мэра, власти в Лондоне в части транспорта проводили недостаточные меры: ограничение въезда грузового транспорта и строительство огромного количества парковок, которые не решали проблему. Прямые меры Ливингстона привели к должному результату в обеспечении эффективной транспортной системы и комфорта населению города [6].

Шанхайская транспортная система – это пример развития транспортной инфраструктуры для процветания города. Шанхай пережил второе рождение, когда за последние 10 лет было построено большое количество мостов и тоннелей через реку Нангпу, многоуровневые транспортные развязки, проложенные по эстакадам через весь город 8-полосными магистралями, современное метро с количеством станций более 100, ветки скоростного магнитного поезда, большое количество новых современных терминалов в двух аэропортах города.

В США, например, планируется претворить в жизнь необычный проект – муниципальная аренда автотранспорта. Его суть заключается в том, что потенциальный потребитель услуги определяет в интернете положение ближайшей к нему общественной машины, оплачивает услугу через терминал, установленный в салоне, и, авторизуясь в системе, едет до нужного места и там же оставляет машину для того, чтобы дальше ей воспользовался следующий потребитель. Кроме этого, будут предлагаться различные по габаритам автомобили: минивен для большого количества человек или микролитражка для поездки в офис.

В странах ЕС делают упор на развитие городского транспорта, уменьшая количество личных автомобилей на дорогах, или же выходят из сложной ситуации нестандартными методами. Например, в Греции в центр города можно попасть только через день. По четным дням в центр проезжают авто-

мобилю, номера которых оканчиваются на четное число, и наоборот. При этом данная проблема решается путем наложения штрафов на въезд в центр города, отдельных улиц, мостов, туннелей и т.д.

В развитых странах, на сегодняшний момент, в сфере услуг широко используется государственно-частное партнерство. Во всем мире ГЧП утвердило за собой механизмы реализации общественных услуг, при этом масштаб их деятельности ограничен объемом финансирования за счет государственного бюджета. Такая тенденция наблюдается в странах с переходной экономикой и в таких развитых странах как Германия, США, Франция, в которых активно используют механизм ГЧП для оказания услуг обществу.

В транспортной отрасли США государственно-частное партнерство определено как соглашение между частным предприятием и государственным органом для более активного участия транспортного сектора в управлении системой транспорта. Европейцы определяют цель такого партнерства как привлечение финансовых ресурсов на строительство, реконструкцию, модернизацию инфраструктурных объектов транспорта, который является компетенцией государственного органа [7].

Крупные транспортные проекты за рубежом часто приносят как прямую, так и косвенную прибыль. Но, так как ресурсы государственного бюджета постоянно сокращаются, приходится привлекать новые источники финансирования, благодаря которым заинтересованные стороны могут участвовать в реализации проектов транспортной политики на долевой основе. Источниками получения прибыли от функционирования проектов могут стать:

- оплата проезда через определенные участки;
- оплата провоза груза и другие выплаты;
- дополнительные налоги и сборы с пользователей транспортными средствами;
- благоприятные условия денежных расчетов;
- предоставление кредитов на выгодных условиях предприятиям, занятым осуществлением проекта, а также другие источники.

### **Вывод**

Проведенные исследования показали, что современные развитые страны давно осознали значение существующих проблем общественного транспорта и активно занимаются поиском и претворением в жизнь путей их решения. В нашей стране необходимо, опираясь на зарубежный опыт, осуществлять радикальные меры по решению транспортной проблемы, так как от состояния транспортной инфраструктуры зависит экономическое положение регионов, эффективная работа промышленности и инвестиционная привлекательность.

### **Библиографический список**

1. Рейтинг стран по качеству дорог. URL: <http://basetop.ru/rejting-stran-po-kachestvu-dorog/> (дата обращения: 6.01.2019).
2. Ушаков В. В. Автомобильные дороги. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог // Обзорная информация. 2012. 68 с.
3. Кардашова М. А., Далгатова И. Д. Перспективы развития транспортной логистики. 2016. 6 с.
4. Винеvская Н. Ю., Польшакова Н. В. Современные трудности в транспортной инфраструктуре. 2015. 35 с.
5. Фаттахoв Т. А. Источники информации о ДТП и учет дорожно-транспортного травматизма в России. Институт демографии национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2014. № 6. С. 12–14.
6. Колташов В. В. Экономика. Центр экономических исследований // Институт глобализации и социальных движений. 2018. № 22. С. 37–40.
7. Кузнецов И. В. Зарубежный опыт государственно-частного партнерства (США, Европа, Канада). Мировая экономика и международные экономические отношения // Экономические науки. 2012. № 8(93). С. 196–204.

## УДК 656.73

**Н. В. Богатов**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАНИЯ МАРШРУТА НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

Воздушный транспорт – самый быстрый способ доставить что-либо (груз, пассажир) из точки А в точку В. С самого начала истории коммерческих авиаперевозок, которая берет свое начало с 1911 года, и вплоть до настоящего времени эта индустрия сделала колоссальный прорыв как в техническом плане, так и в плане объемов перевозок, тем самым давая возможность огромному количеству специалистов внедрять и реализовывать все новые и новые идеи совершенствования [1].

Если раньше транспортная сеть даже самого крупного авиаперевозчика представляла всего пару направлений, то сейчас на примере авиакомпании AEROFLOT, ее дочерних авиакомпаний и открытому ресурсу OpenFlights (рис. 1) мы видим, что число направлений доходит до 448 [2]. И это далеко не самый большой показатель. Например, показатель самой крупной авиакомпании Европы – LUFTHANSA 507 направлений по всему миру [3].



Рис. 1. Графическое представление направлений авиаперевозок авиакомпаний AEROFLOT и LUFTHANSA

В современном мире возникает тенденция на создание транспортных хабов. Не исключением является и сфера авиационных перевозок. Интеграция в системе аэропортов означает соединение аэропортов в транспортную систему, в которой крупный узловой аэропорт становится транспортным хабом, который и формирует маршрутную сеть [4].

Уже упоминалось, что каждый из этих воздушных судов совершает полет по своему отдельному маршруту, не следуя просто по прямой из пункта вылета в пункт прибытия. Таким образом мы видим необходимость построения отдельного маршрута для каждого из направлений авиаперевозчика, например для всех 448 направлений авиакомпании AEROFLOT, что делает проблему маршрутизации в сфере авиаперевозок крайне актуальной.

Дело в том, что в воздушном пространстве, как и на земле, также существуют, так называемые, воздушные трассы (коридоры). Их главная задача – максимально эффективное использование воздушного пространства и упорядочивание движения самолетов.

Как же строится маршрут самолета? Конечно же, все маршруты прорабатываются заранее, на земле. У всех крупных перевозчиков существует отдел аэронавигационного обеспечения. Его задача – формирование из известных точек и трасс (транзит от одной точки к другой по определенному вектору) [5]. Однако все не так просто.

Форма Земли может быть описана как сфера, поэтому уравнения для вычисления расстояний на большом круге [6] важны для вычисления кратчайшего расстояния между точками на поверхности Земли и часто используются в навигации.

Для того, чтобы рассчитать расстояние между двумя точками на земном шаре нам необходимо вычислить сферическое расстояние большого круга. На практике получила широкое распространение сферическая теорема косинусов:

$$\Delta\sigma = \arccos\{\sin\phi_1\sin\phi_2 + \cos\phi_1\cos\phi_2\cos\Delta\lambda\} \quad (1)$$

Для перевода углового расстояния в метрическое, угловую разницу умножаем на радиус Земли (6372795 метров), единицы конечного расстояния будут равны единицам, в которых выражен радиус (в данном случае – метры).

Во избежание проблем с большими расстояниями используется формула:

$$\Delta\sigma = 2\arcsin\left\{\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos\phi_1\cos\phi_2\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right\} \quad (2)$$

В современных реалиях для построения маршрута существует огромное количество программного обеспечения, благодаря которому можно быстро и точно построить необходимый маршрут, используя существующую базу данных векторных и радиолокационных точек.

Рассмотрим программу Professional Flight Planner X [7], используемую для построения маршрутов авиалайнеров, и построим простейший маршрут. Возьмем многим знакомый маршрут из аэропорта Пулково (ULLI) в аэропорт Домодедово (UDD). Латинские буквы обозначают код ICAO аэропорта, используемый в навигации.

Точки с набором латинских букв – есть точки нашего маршрута (waypoints). Они обозначают собой географические координаты, которым присвоено имя. Как правило, это простой набор из латинских букв, которые удобно запомнить.

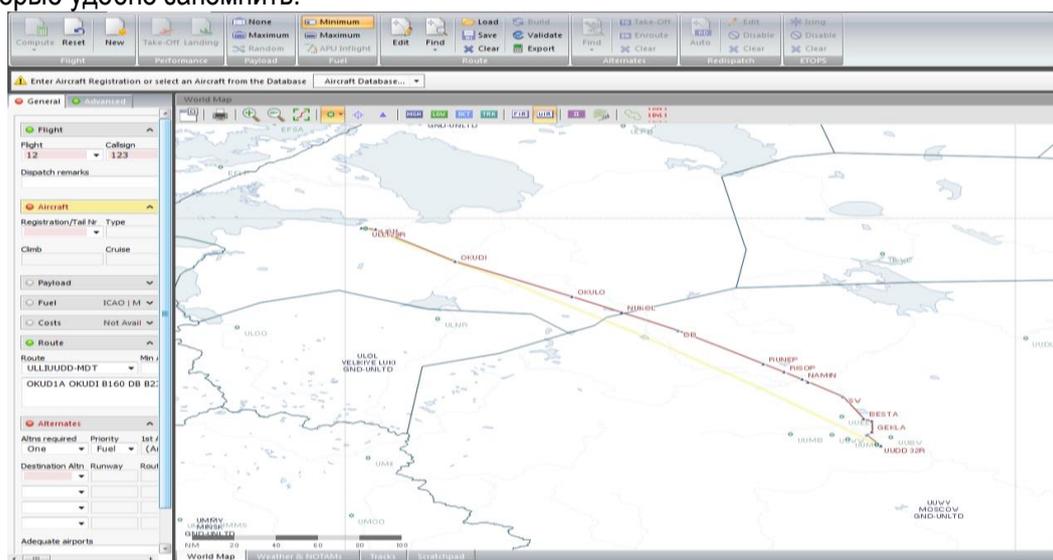


Рис. 2. Маршрут из аэропорта Домодедово в аэропорт Пулково. Красная линия – маршрут, построенный из геолокационных точек взятых из базы данных. Желтая линия – прямой маршрут

Такой способ навигации называется RNAV (Зональная навигация). Он представляет собой полет от одной точки к другой в пределах зоны охвата радиомаяков, помогающим самолету ориентироваться в пространстве.

Точка пути задается координатами в системе координат WGS – 84. Навигационная база данных обязательно обновляется каждые 28 дней.

В воздушное судно маршрут вводится непосредственно пилотами. Можно вбивать вручную каждую точку и трассы или загрузить готовый маршрут из базы данных. Все это хранится и вбивается в борт компьютер, который называется FMC. Подробнее о назначении и использовании FMC мы поговорим в следующих разделах.



Рис. 3. Точки маршрута, внесенные в борт компьютер воздушного судна, на примере авиасимулятора Microsoft Flight Simulator X

### Заключение

В результате выполненного исследования можно заключить, что задачу маршрутизации можно на практике изучать на основе симуляторов и моделировать различные схемы маршрутов. Использование подобного программного обеспечения обладает большей наглядностью и большой практической значимостью, позволяя вносить реальные данные. В свою очередь построенный маршрут можно практически применить в авиасимуляторе, и в реальном времени осуществить перелет со всеми параметрами загрузки воздушного судна. Подобное программное обеспечение может использоваться в экспериментальных целях при разработке новой маршрутной сети или при оптимизации существующей.

### Библиографический список

1. История развития авиаперевозок. URL: <http://kentawra.net/article/218-istoriya-razvitiya-aviaperevozok.html> (дата обращения: 05.03.2019).
2. Открытый ресурс OpenFlights. URL: <https://openflights.org> (дата обращения: 01.03.2019).
3. Сайт авиакомпании Lufthansa. URL: <https://www.lufthansa.com> (дата обращения: 01.03.2019).
4. Фетисов В. А., Майоров Н. Н. Практические задачи моделирование транспортных систем. СПб.: ГУАП, 2012.
5. Маршрут полета самолета. URL: [http://skynav.ru/pax/flight\\_route/](http://skynav.ru/pax/flight_route/) (дата обращения: 01.03.2019).
6. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере. URL: [http://wiki.gislab.info/w/Вычисление\\_расстояния\\_и\\_начального\\_азимута\\_между\\_двумя\\_точками\\_на\\_сфере](http://wiki.gislab.info/w/Вычисление_расстояния_и_начального_азимута_между_двумя_точками_на_сфере) (дата обращения: 01.03.2019).
7. Professional Flight Planner X. URL: <http://www.flightsimsoft.com/pfpx> (дата обращения: 01.03.2019).

УДК 378.147

**А. В. Борисков**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Д. Л. Головцов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ПОСТАВОК ДЛЯ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ БУЛОЧНЫХ

В условиях быстро разрастающихся городов и сетей дорог для большинства компаний жизненно необходимо иметь грамотно настроенную логистическую службу. Чтобы сеть булочных могла конкурировать с другими компаниями, а так же приносить стабильный высокий доход необходимо проработать несколько вопросов в направлении организации поставки продукции на прилавки булочных. Безусловно, все зависит от конкретного состояния сети булочной в данный момент, однако, есть несколько аспектов, которые универсально подходят для любой сети. Никогда не поздно обратить внимание на организацию поставки продукции своей компании, даже если ранее эти действия уже производились. За прошедшее время могло измениться очень много влияющих факторов:

- 1) изменились объемы товарооборота;
- 2) открылись новые точки реализации продукции, либо закрылись какие-то из старых;
- 3) изменилась схема проезда по некоторым маршрутам и др.

Для начала стоит отметить, что сети булочных реализуют такие товары как кондитерская продукция, а так же хлебобулочные изделия. Для любой булочной важно, чтобы продукция имела первозданный внешний вид, а так же неизменные вкусовые качества. Чтобы была возможность перевозить такие товары, необходим специальный транспорт. Для кондитерской продукции это автомобили, оборудованные рефрижераторными установками. Для хлебобулочных изделий специально выделенный транспорт, отвечающий всем нормам и правилам транспортировки хлеба и хлебобулочных изделий.

При организации маршрутов необходимо учитывать факторы в виде: одностороннего движения улиц, запретов на проезд по некоторым улицам грузового транспорта, запрещенных поворотов и так далее. Маршруты должны быть образованы таким образом, чтобы автомобили были максимально рационально загружены и обслуживали близлежащие друг к другу точки. Маршруты должны учитывать загрузку автомобильных дорог в определенные участки времени, чтобы минимизировать издержки по маршрутам, а так же по задержкам поставки продукции на прилавки магазинов.

Так же немаловажным фактором для любой сетевой компании является выбор автотранспорта в плане его владения. Что для компании выгоднее: приобрести автомобиль, либо арендовать. Для сети булочных намного выгоднее будет нанимать на работу водителей со своими автомобилями, так как в противном случае затраты на покупку собственных авто, а так же на их обслуживание будут несоизмеримо высокими. Если принять во внимание тот факт, что некоторые сети булочных открывают по 2–4 точки реализации в месяц, тогда сразу станет понятно, что компании будет максимально не выгодно закупать новые автомобили и нанимать дополнительных шоферов чуть ли не каждый месяц.

Если у сети булочных открываются новые точки реализации, тогда необходимо постоянно модернизировать уже имеющуюся организацию маршрутов. Начать можно с обычного перераспределения нагрузки среди уже имеющегося автопарка. В данном случае может найтись несколько вариантов решения. Самый идеальный из всех – вся нагрузка распределена по имеющимся автомобилям, и они успевают развести всю продукцию к открытию булочных. Так же может быть такой вариант – нагрузка перераспределена, однако на одну или несколько точек товар приходит немного позже необходимого. Тогда компания может принять решение перенести открытие точки реализации (булочной) на некоторое время. Например, если в первые часы работы булочная не приносит большой прибыли. Если оптимального варианта достичь не получается, предприятие может отказаться от идеи переноса начала времени работы булочной и нанять дополнительный автомобиль.

Так же можно попытаться полностью перестроить уже имеющиеся маршруты, но, скорее всего, компания не будет заниматься этим слишком часто.

**Библиографический список**

1. Зеленова Е. С. Логистика как фактор повышения конкурентоспособности фирмы // Актуальные вопросы экономики и управления: матер. IV Междунар. науч. к. М.: Буки-Веди, 2016. С. 159–161.
2. Майоров Н. Н. Моделирование транспортных процессов. СПб.: ГУАП, 2011. 165 с.

УДК 378.147

**А. А. Добровольская**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Д. Л. Головцов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АНАЛИЗ И МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК ЛЕГКОВЫМИ ТАКСИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Пассажирский транспорт позволяет быстро добираться до необходимого местоположения и является важной частью городской инфраструктуры. В Санкт-Петербурге перевозки осуществляются метрополитеном, наземным электротранспортом, автобусами, пригородным железнодорожным транспортом, водным транспортом и легковыми такси. Такси являются важной частью городского транспорта, поскольку обладают большей мобильностью по сравнению с другими видами транспорта, позволяя осуществлять поездки «от двери до двери» круглосуточно. Возрастающая роль такси связана со стремительными темпами развития агрегаторов. В связи с большим количеством перевозчиков, цена на поездку постепенно снижается, заказать и оплатить такси можно любым удобным способом. Для некоторых пассажиров использование такси может быть более выгодным, чем личный транспорт, что может привести к полному или частичному отказу от излишних поездок. Этот фактор может сыграть значительную роль в развитии современного мегаполиса: уменьшение автомобилей напрямую влияет на снижение вредных выбросов в атмосферу, а так же разгрузку дорожной сети. Все это делает будущий город комфортнее для жизни человека.

Основная задача любого такси-сервиса – извлечение прибыли. Для определения спроса и правильного распределения автомобилей по территории города, необходимо учитывать множество факторов, связанных с особенностями различных перевозчиков, территориальным устройством городов и местами наибольшего спроса, а так же изучение основных причин вызова.

Наиболее популярным способом заказа такси является мобильное приложение, поскольку оно позволяет увидеть приблизительное время подачи автомобиля и стоимость поездки, номерной знак и имя водителя. Поиск свободного такси на улице востребован все меньше из-за отсутствия контроля за лицензированием деятельности водителей.

На сегодняшний день существует несколько компаний, лидирующих на рынке (табл. 1). Наиболее крупной является «Яндекс Такси», которая в 2017 году совершила сделку по слиянию с «Uber» [2].

Таблица 1

#### Лидеры рынка такси

Перевозчик	Тип агрегатора	Доля на рынке РФ
«Яндекс Такси» + Uber	Мобильное приложение	10.4%
Maxim	Телефон + мобильное приложение	7.6%
Fasten «Сатурн» RuTaxi («Везет», «Лидер»)	Телефон + мобильное приложение	12.3%
Gett	Мобильное приложение	2.5%

В Санкт-Петербурге сейчас 35348 действующих разрешений на осуществление деятельности по перевозки пассажиров и багажа и легковыми такси, все данные о действующих разрешениях отражены в реестре [3]. Среди них 2/3 разрешений выданы юридическим лицам, а оставшаяся доля принадлежит индивидуальным предпринимателям. Наиболее популярными маркой является Hyundai, Volkswagen и Skoda (рис. 1).

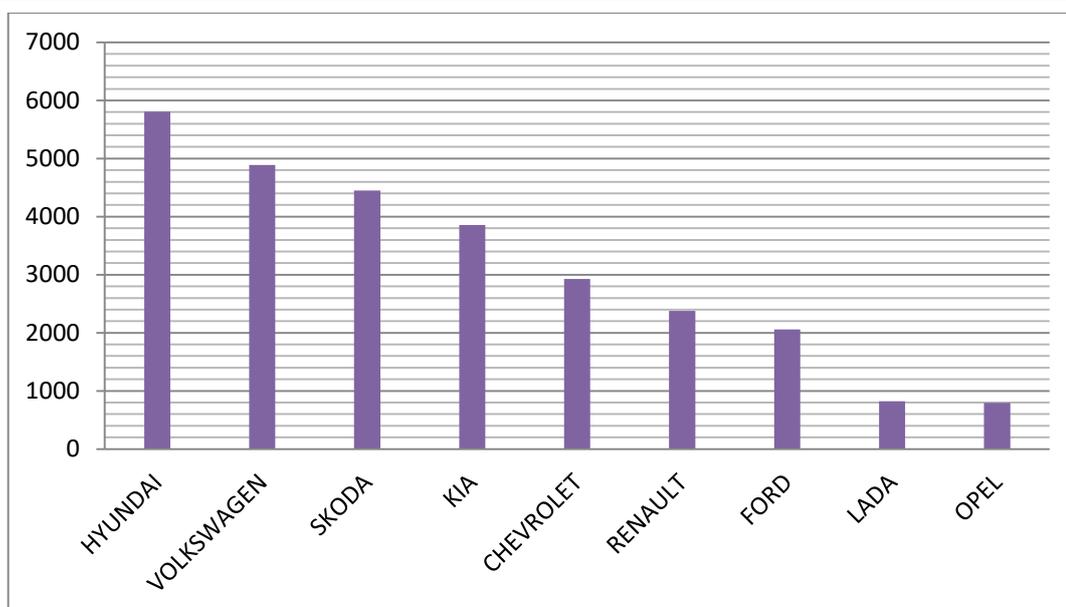


Рис. 1. Распределение количества автомобилей-такси по маркам

Официальные стоянки такси охватывают 9 из 18 районов города и сконцентрированы в основном в центральной части города, а также в местах, где пассажиры совершают поездки до аэропорта и вокзалов (рис. 2).

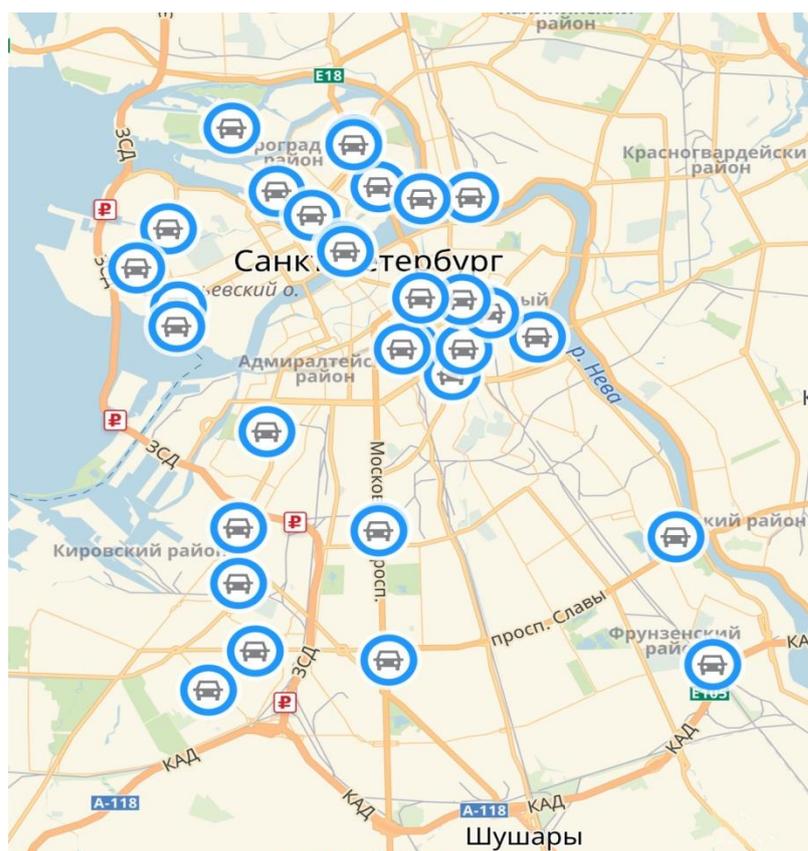


Рис. 2. Официальные стоянки такси

Для исследования пассажиропотока был произведен анализ спроса на услуги такси. В опросе участвовали молодые люди в возрасте от 18 до 24 лет, проживающие на территории Санкт-Петербурга (рис. 3–4).

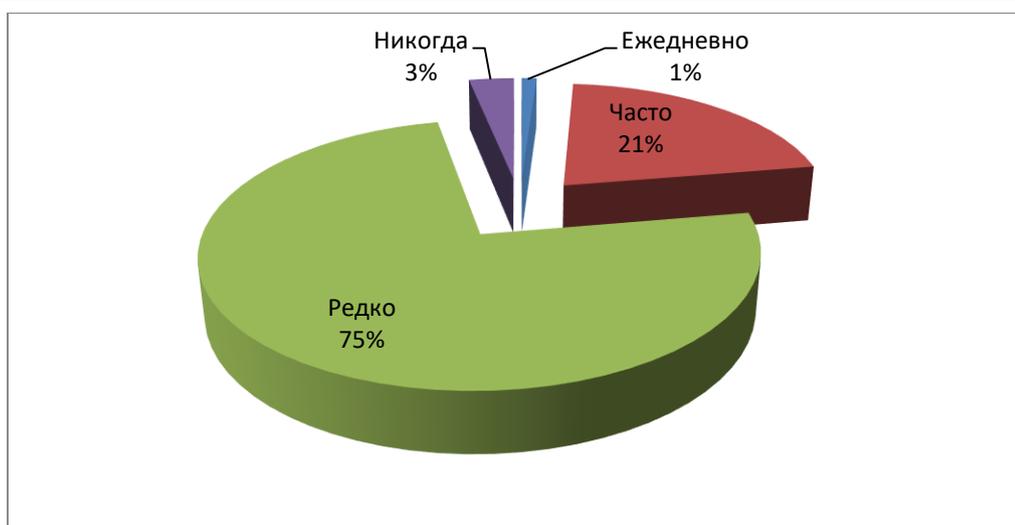


Рис. 3. Частота пользования услугами такси

Диаграмма (рис. 3) показывает, что большинство опрошенных не часто пользуется услугами такси, однако среди них практически нет тех, кто ими никогда не пользовался, а 22% пользуются такси часто или ежедневно.

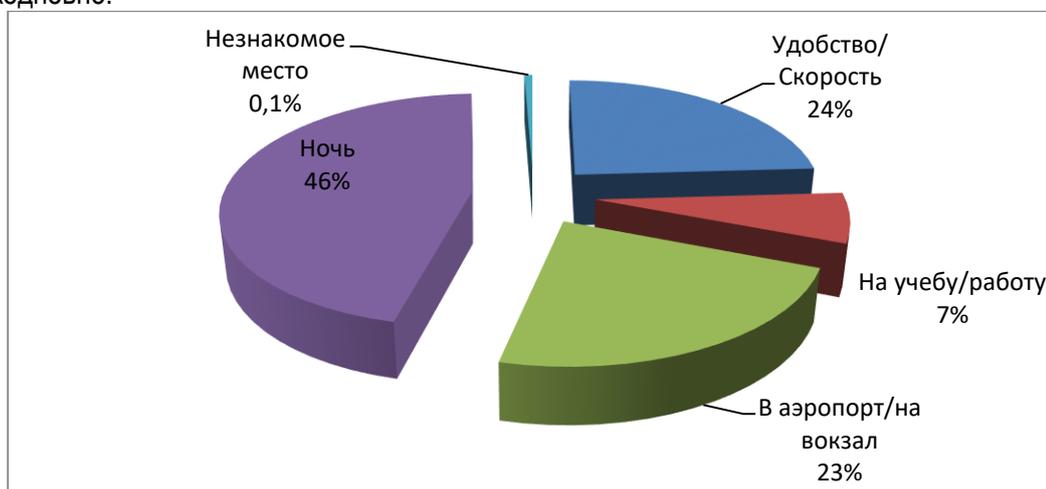


Рис. 4. Причины вызова такси

На второй схеме (рис. 4) видно, что самой распространенной причиной вызова такси является позднее время суток, когда необходимо добраться или вернуться с праздника, воспользоваться общественным транспортом уже нет возможности или пассажир волнуется за свою безопасность. Следующая часть опрошенных (24%) преимущественно выбирает такси из-за скорости относительно общественного транспорта, а так же при сильном опоздании. 23% предпочитает добираться на такси в аэропорт или на вокзал, а 0,1% предпочитают такси, если место не знакомо. Небольшой процент опрошенных использует услуги для регулярных поездок на работу или учебу.

Таким образом, при формировании времени подачи автомобиля необходимо учитывать, что решающим фактором является скорость. В общем виде задачу о поиске подходящего автомобиля можно представить в виде следующей формулы:

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in T} C(i, j) t_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C$  – целевая функция поиска автомобиля,  $t$  – время подачи автомобиля.

Матрица представляет собой множество автомобилей ( $A$ ) и заказов ( $P$ ) и стоимость перевозки. Поскольку решающий фактор – время, в данном случае ценой является время  $t$  (табл. 2).

**Матрица распределения заявок**

	P1	P2	...	Pn
A1	$t_{11}$	$t_{12}$		$t_{1n}$
A2	$t_{21}$	$t_{22}$		$t_{2n}$
...				
An	$t_{n1}$	$t_{n2}$		$t_{nn}$

По результатам выполненного исследования выявлено, что такси является привлекательной для большинства услугой и очень мало людей никогда ей не пользуются. При этом большую часть спроса на такси составляют не регулярные поездки, а хаотичные. Решающими факторами при выборе такси являются:

- скорость подачи автомобиля;
- скорость поездки и маршрут;
- удобство и комфорт во время поездки.
- время, транспортная ситуация на уличной дорожной сети.

Таким образом, при распределении множества заказов между исполнителями необходимо учитывать время суток и пиковые часы, для предотвращения дефицита спроса, а время подачи автомобиля должно быть минимальным.

**Библиографический список**

1. Фетисов В. А., Майоров Н. Н. Практические задачи моделирования транспортных систем. СПб.: ГУАП, 2012. 185 с.
2. Исследование рынка такси. URL: <http://ac.gov.ru/files/content/15801/issledovanie-taksi-2018-pdf.pdf> (дата обращения: 17.03.2019).
3. Перевозки пассажиров и багажа легковыми такси. Администрация Санкт-Петербурга. URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/taxi](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/taxi) (дата обращения: 6.03.2019).
4. Такси в Санкт-Петербурге. URL: <https://yandex.ru/company/researches/2015/spb/taxi> (дата обращения: 6.03.2019).

УДК 656.71

**Е. В. Евстратова**

студент кафедры системного анализа и логистики

**С. А. Андронов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – это телематическая транспортная система, обеспечивающая реализацию функций высокой сложности по обработке информации и выработке оптимальных (рациональных) решений и управляющих воздействий. Здесь под понятием телематическая понимается способность системы обеспечивать сбор, обработку, передачу и отображение информации о состоянии дороги на данный момент, в том числе наличие пробок, аварий, дефектов покрытия [1]. В данной статье понятия «умная дорога» и ИТС тождественными.

Толчком к появлению ИТС стали все нарастающие транспортные проблемы в мегаполисах. Скорость движения транспорта в городе на порядок меньше технических возможностей транспортных средств. Например, в Нью-Йорке – 33 км/ч; в Минске – 17 км/ч; в Москве 13 км/ч. Фактически автомобиль превращается в черепаху. И это при том, что технические возможности транспортного средства позволяют ездить на порядок быстрее. Можно, конечно, расширять дороги, строить автомобильные развязки, но в городах такие возможности ограничены, да и стоят они достаточно дорого. Поэтому сейчас главные усилия направлены не столько на совершенствование ходовых качеств автомобиля, сколько на системы управления ими [2].

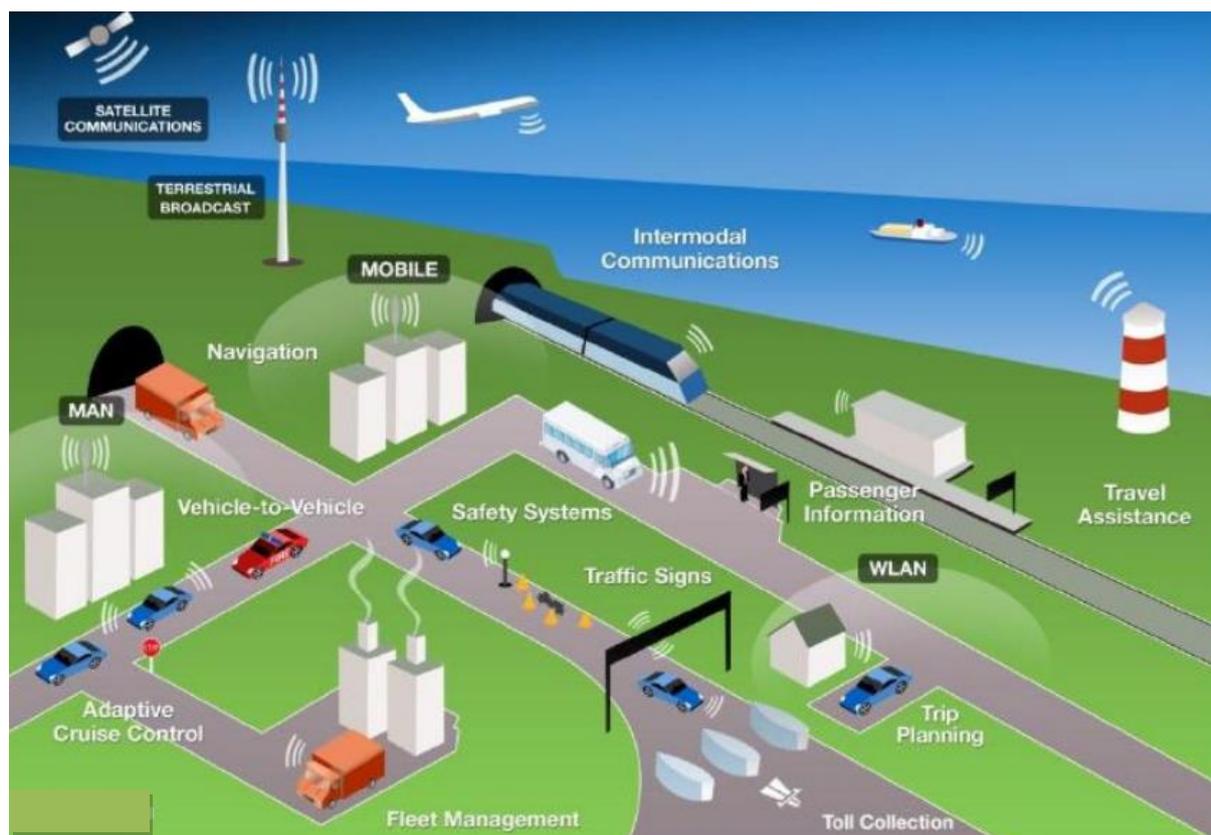


Рис. 1. Взаимосвязь всех видов транспорта в ИТС

Направление развития ИТС – создание единого информационного пространства, объединяющего транспортные средства, дорожное оборудование, диспетчерские центры организации движения по всей стране.

ИТС имеют две главные цели:

- увеличение скорости движения транспортных средств;
- повышение безопасности на дорогах.

ИТС приносят пользу как в городах, так и при перевозках на дальние расстояния, а так же международных перевозках. Они направлены на создание транспортно-логистических цепочек, глобальных навигационных систем и автоматизированных систем учета товарно-сырьевых потоков.



Рис. 2. ИТС в международных перевозках

ИТС в дорожном движении – это обеспечение безопасного, удобного и бесперебойного движения транспорта в перегруженных мегаполисах. В городе ИТС полезны всем трем группам пользователей – пассажирам и пешеходам, водителям и городским властям.

Для пассажиров и пешеходов:

- информационная система для общественного транспорта;
- единая карта оплаты услуг;
- светофор по требованию.

Для водителей:

- система автомобильной информации и связи;
- радиоканалы дорожных сообщений;
- многофункциональный транспортный сайт;
- планирование поездок;
- динамические дорожные указатели и табло;
- система помощи при парковке;
- автоматический сбор платежей за проезд по платным дорогам.

Для города:

- камеры J-Eye (Junction Electronic Eyes) ;
- система управления светофорами;
- противопожарные датчики и детекторы загрязнения воздуха [2].

ИТС далеко выходят за рамки инженерных решений. Для их реализации необходимо создать институциональную структуру, в которую будут входить проектные, промышленные, управленческие, научно-исследовательские, учебные организации. Для этого данное направление должно иметь высокий уровень государственной поддержки.

Проблема осознания потенциала применения ИТС неразрывно связана с пониманием роли и места автоматизации, информатизации и искусственного в развитии всех отраслей промышленности, а не только в области транспорта [4].

Одна из главных больших проблем любого большого города – транспортные заторы. В качестве варианта, позволяющего уменьшить «пробкообразование», можно сказать об интеллектуальном управлении светофорами. Наружный комплекс видеочамер передает информацию о дорожном движении по уличной сети в центр управления. На основании полученной информации диспетчер центра управления производит смену режима работы светофора для предотвращения образования затора на городских дорогах. Развитая ИТС позволит производить автоматическую (автономную, то есть без участия человека) диспетчеризацию: включать специальные режимы светофоров, изменяя длительность разрешающего или запрещающего сигналов для любого светофора города. Помимо камер для реализации данной системы можно предложить организовывать сбор о количестве машин при помощи информации, полученной непосредственно с мобильных телефонов водителей.

Долгосрочная концепция развития транспорта, безусловно, должна быть инновационной, т.е. должна опираться на передовые достижения науки и техники. Основной инновацией должны быть отечественные фундаментальные научные исследования в области транспорта [2]. При разработке такой концепции необходимо учитывать реальные возможности нашей страны в данной области и современный уровень развития транспортной системы. Концепция развития «Умных дорог» должна базироваться на системном подходе и перспективном развитии науки и техники. Инновационное развитие предполагает лидерство, однако помимо собственных научных разработок в данной области, необходимо опираться и на зарубежный опыт в сфере дорожного строительства и на их передовые технологии. В первую очередь это касается информационно-коммуникационных технологий.

В данной статье речь пойдет о такой важной составляющей инфраструктуры ИТС как «умная дорога». Это сложная система, являющейся в свою очередь совокупностью подсистем различного назначения. Для эксплуатации данной системы необходимо наличие автоматизированных высокотехнологичных устройств, которые умеют распознавать конкретные ситуации, происходящие на дороге, и соответствующим образом на них реагировать [3].

Приведем некоторые примеры зарубежного опыта по внедрению элементов ИТС в область дорожного строительства.

Энергетическая автономность инфраструктуры в первую очередь обеспечивается путем использования солнечной энергии. Наиболее простой и легкорезализуемой идеей по использованию солнечной энергии на данный момент считается нанесение на дорожное полотно фотолюминесцентных красок. В дневное время краска поглощает световую энергию, чтобы ночью распространять рассеянный свет в окружающую среду. Заряда энергии хватает более чем на 10 часов, чего вполне достаточно, чтобы дать водителю необходимое освещение в ночное время суток. Другим примером использования лакокрасочных материалов является проект «Dynamic Paint» (в русской версии «Активная краска»). Когда температура воздуха опускается ниже 0 °С, на поверхности дорожного покрытия появляются предупреждающие водителя о наледи на дороге изображения снежинок, нарисованные специальной краской, чувствительной к температуре (рис. 3). Это помогает напомнить участникам дорожного движения об опасности превышения скоростного режима и, как следствие, увеличивает безопасность [3].



Рис. 3. Применение флюоресцирующих лакокрасочных материалов. Проект «Dynamic Paint»

В США проект под названием Solar Roadways предлагает перекрыть все автодороги страны специальными плитами, представляющими из себя «умные» солнечные батареи (рис. 4).



*Рис. 4. Пример использования «умных» солнечных батарей. Проект Solar Roadways.*

Использование огромных площадей, занимаемых автодорогами, под солнечные элементы позволит отказаться от внешнего питания электроэнергией дорожной инфраструктуры. Избыток же электроэнергии, получаемой от дорог, можно использовать и в других отраслях народного хозяйства, что позволит снизить давление на экологию путем частичного или полного отказа от других способов получения электроэнергии (тепловые, атомные и др. электростанции). Дорога, перекрытая такими плитами, подогревается, снижая вероятность обледенения проезжей части в зимний период, подсвечивается в ночное время, выводит как на экран информацию о дорожной обстановке. Разработчики предлагают также дополнительно разместить в «солнечном» покрытии автодороги различные коммуникации: например, электрические сети, связь, кабельное телевидение, высокоскоростной интернет. Это позволит отказаться от столбов и проводов, расположенных вдоль автомобильных дорог. Также к неоспоримым плюсам солнечных панелей можно отнести тот факт, что они в три раза долговечнее асфальта. Стоит также отметить легкость в ремонте: если какая-то из панелей сломается, то не нужно демонтировать весь участок дороги, а только неисправный элемент.

Несколько лет назад китайские инженеры сконструировали инновационный вид общественного транспорта, который позволял не занимать лишнюю полосу для движения автобусов. Эту разработку по логике назвали автобусом-тоннелем (рис. 5).



*Рис. 5. Автобус-тоннель*

Китайский автобус представляет собой пассажирский салон, установленных на двух опорах. Именно благодаря такой конструкции автомобили могут спокойно проезжать под автобусом, что так же позволяет увеличить пропускную способность и гарантировать движение автобуса строго по расписанию.

Данное изобретение могло бы стать отличной альтернативой метрополитену, так как стоимость производства одного автобуса-тоннеля и прокладывание маршрута следования обошлось бы гораздо дешевле, чем сооружении линии метро. Однако претворить данную идею в жизнь китайцы пока так и не смогли.

Из вышеизложенного можно видеть, что аспектов в направлении движения от «обычных» автодорог к «умным» множество, и в данной статье затронута лишь их малая часть. Однако все многообразие этих аспектов может быть систематизировано по двум основным критериям: Безопасность и Энергоэффективность [3]. Классификационные критерии и их характеристики показаны в таблице.

Таблица

**Классификационные критерии эксплуатационных параметров ИТС**

Критерий	Содержание	Характеристика, эффект
Безопасность и комфорт	Функциональное состояние дорожного покрытия	Поддержание функционального состояния покрытия (управление температурным режимом, антигололед и др.)
	Геоинформационные технологии	Автоматизация управления транспортом, в том числе грузовых сетей; Система распознавания государственных регистрационных знаков; Навигация движения; Мониторинг параметров транспортного потока; Оперативное реагирование на аварийные и чрезвычайные ситуации; Автоматическое светофорное регулирование в зависимости от величины транспортного потока; Автоматическое взимание платы при проезде грузовых транспортных средств; Автоматическая система весогабаритного контроля; Повышенная безопасность для лиц пожилого возраста и людей с ограниченными возможностями
	Адаптация дорожного полотна	Оптимизация параметров дороги под изменяющиеся в зависимости от погодных условий и времени года характеристика окружающей среды; Метеомониторинг
	Экология	Снижение негативного воздействия транспорта на экологию
Энергоэффективность	Экономия	Топливо; Дорожные материалы; Время (ремонта, движения транспорта и пр.); Энергосбережение при освещении
	Аккумуляция (утилизация)	Солнечная энергия; Механическая энергия движущегося транспорта
	Увеличение срока службы	Эксплуатационная эффективность

На данный момент, как в России, так и за рубежом существует множество прототипов ИТС, частично или полностью реализующих примеры интеллектуального усовершенствования дорожной си-

стемы на практике. Вопрос внедрения ИТС в дорожную отрасль является актуальным и широко обсуждаемым в мире. На данный момент в нашей стране регулярно проводятся конференции, обсуждающие данную проблематику, и также особое внимание уделяется совершенствованию технологий интеллектуального дорожного контроля. Все шаги по внедрению интеллектуальных систем помогут сократить пробки в мегаполисах и на оживленных трассах, повысить уровень безопасности всех участников дорожного движения, снизить количество потребляемого топлива и существенно увеличить комфорт водителей. И, конечно, внедрение ИТС – это ключ к минимизации негативных воздействий на нашу экологию.

#### **Библиографический список**

1. Афонин А. М. Транспортная логистика: организация перевозки грузов: учебное пособие. М.: ФОРУМ: инфра-м, 2014. 368 с.
2. Грабауров В. А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта. Минск, 2013.
3. Дмитриев И. И. Умные дороги и интеллектуальная транспортная система. 2017. С. 7–28.
4. Евстигнеев И. А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. М.: Перо, 2015. 164 с.

УДК 656.614.34

**А. А. Ипатова**

студент кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Развитие мировой экономики непрерывно и соответствует стремлению человечества к развитию, что в современное время как никогда актуально. В течение этого развития происходят изменения и появляются новые тенденции, которые помогают совершенствовать сектор далее, извлекать большую прибыль, оптимизировать процессы.

Настоящее время. Менее развитые страны продолжают поставки грузов сырьевых отраслей, а также первичной переработки, в то время как достаточно развитые – адаптируются к современным реалиям и значительную долю грузоперевозок составляют так называемые фабрикаты или готовая переработанная продукция, тарно-штучные грузы. Дело в том, что стоимость непереработанной продукции, т.е. сырья намного ниже стоимости готового изделия. Поэтому производитель, желая увеличивать свою прибыль и расширять производственные мощности своего предприятия, старается преобразовывать дешевый сырьевой продукт в высокотехнологичный, с большей стоимостью. Тем самым, обуславливается трансформация экономики в настоящее время.

Однако, произвести продукт – это только полдела. Для того чтобы он приносил прибыль, необходимо внедрить его в сферу товарного обращения. Иными словами довести результат производства до конечного потребителя. Но что делать, если покупатель находится не возле фабрики, а на другом конце света за тысячи километров? Статья посвящена исследованию работы контейнерного терминала на морском транспорте.

Рассматривая экономику в современном ключе при переходе к так называемой сервисной экономике, прослеживается стремительное увеличение доли контейнерных перевозок в мировой торговле. Отрасль контейнерных перевозок сформировалась в 40–50-х годах прошлого века и с тех пор набирает обороты, трансформируя мировую транспортную систему. «Контейнер» – это безусловная революция для отрасли перевозок. Грузовой контейнер (от англ. «to contain» – содержать внутри) – единица транспортного оборудования многократного применения, предназначенная для перевозки и временного хранения грузов без промежуточных перегрузок, удобная для механизированной загрузки и разгрузки, погрузки и выгрузки, внутренним объемом, равным 1м<sup>3</sup> и более. [ГОСТ 20231–83]. Исторически контейнер был создан как тарная емкость для морского транспорта. Все транспортные емкости, которые допускаются к перевозкам на морских судах, должны соответствовать стандарту всемирной организации по стандартизации ISO 668 (описывает и классифицирует ISO 1 серию контейнеров по внешним размерам и грузонесущим мощностям).

Данному виду перевозок присущ ряд преимуществ, таких как перевозка широкой номенклатуры грузов, укрупненных грузовых единиц (Unit Load Device), простота перегрузки между видами транспорта (важнейший сегмент интермодальных перевозок), надежная защита изделий в процессе транспортировки, снижение затрат на транспортные расходы, снижение стоимости складирования, повышение скорости перегрузок и т.д. Одними из важнейших пунктов являются качество и скорость предоставляемых услуг, а также размер затрат. Оптимальным решением (используя 7 правил логистики – правило 7 R) будет являться такое, которое позволяет максимально снизить одновременно и время доставки и ее стоимость.

Появление и распространенное использование грузовых контейнеров привело к полному изменению транспортно-логистической системы: появился новый «контейнерный» флот (контейнеровозы – специализированные суда, предназначенные для транспортировки продукции в контейнерах стандартных размеров, конструкция их трюмов представляет собой вертикально расположенные помещения со специальными установленными направляющими cell guides для закрепления и размещения контейнеров), унифицированные суда типа panamax, post new panamax и TRIPLE-E и специальное перегрузочное оборудование. Новейшие технологии, современная конструкция судна, а также разработки в обла-

сти производства устройств для погрузки/выгрузки грузов в порту обеспечивают снижение конечной цены морской транспортировки (доля стоимости погрузки товаров на судно и выгрузки его в порту в общем объеме цены перевозки снизилась с 11 до 2%). [1] Крупногабаритные суда имеют колоссальную вместимость и грузоподъемность, недоступную другим ТС (транспортным средствам), что значительно снижает себестоимость перевозки (рис. 1).



Рис. 1. EMMA MAERSK, крупнейшее в мире специализированное судно-контейнеровоз

Для того чтобы принимать партии грузов такого размера необходимы современные высокотехнологичные морские терминалы. Контейнерный терминал (КТ) – это специализированный грузовой терминал, использующий специальную инфраструктуру: комплекс сооружений, технических и технологических устройств, персонал, организационно-взаимоувязанные и предназначенные для выполнения логистических операций, связанных с приемом, погрузкой-разгрузкой, хранением, сортировкой, контейнеров, а также коммерческо-информационным обслуживанием грузополучателей, перевозчиков и других логистических посредников в интер-, мультимодальных и прочих перевозках.

Складские площади морских контейнерных терминалов достигают 500 га и оснащены высокопроизводительным перегрузочным оборудованием. Подобные комплексы существуют и функционируют во всех крупнейших морских портах мира и России.

Основными компоновочными элементами терминала являются:

- морской грузовой фронт (это зона взаимодействия между кранами и зонами хранения, куда контейнеры либо доставляются для подъема на контейнеровоз, либо выгружаются для немедленного сбора и доставки на хранение области, имеет от одного до трех причалов, расположенных по линии, его длина равна длине причала);
- причал (для подхода и швартовки судов, его параметры определяются длиной и осадкой наибольшего ТС для обработки). Для стандартного постпанамаксового контейнеровоза требуется около 325 метров стыковочного пространства, а осадка – около 45 футов (13 метров);
- порталные краны и портовые контейнерные перегружатели (располагаются между доком и контейнеровозом, обрабатывают суда-контейнеровозы, для большего удобства устанавливают с телескопической надводной консолью, размеры рассчитываются, учитывая параметры судов, грузоподъемность – в соответствии с перегружаемыми контейнерами);
- железнодорожные и автомобильные пути (для перевалки контейнеров)
- складскую технологическую площадь (располагается между грузовыми фронтами и сортировочной площадкой, как правило, делится на специальные зоны погрузки-выгрузки и хранения контейнеров, предусматривает проезды);
- козловые краны, автопогрузчики, тягачи (совершают операцию погрузки контейнеров на подвижной состав);
- тыловой грузовой фронт (автомобильный и железнодорожный);
- сортировочная площадка (составляет основную площадь терминала и располагается за линией грузового фронта);
- крытые склады для комплектации контейнеров;
- отдельная зона для складирования порожних контейнеров;
- входной комплекс терминала (пропускной пункт, оборудованный весами) [3];
- базу по ремонту контейнеров и перегрузочных машин;
- служебно-бытовые здания.

Контейнеры штабелируют на открытых складских площадках, учитывая разметку, а также специализацию контейнеров и направления перевалки. Необходимо, чтобы площадка была ровной и опора контейнера осуществлялась правильно на 4 угловых фитинга. [2]

В морских портах терминалы ведут, как правило, перевалку крупнотоннажных и среднетоннажных контейнеров 40- и 20-футовых более 50 в сутки, а также выполняют смешанную переработку, тогда в КТ выделяется 2 специализированные площадки.

При штабелировании контейнеров в терминале на площадке применяют следующие схемы: башенная, ленточная, блочная, трейлерная, поперечная и продольно-поперечная [2] – представлены на рис. 2.

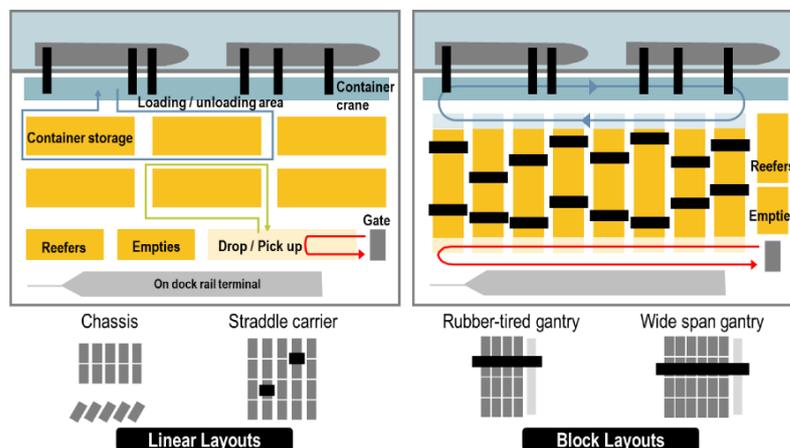


Рис. 2. Схемы расположения контейнеров на открытой площадке

Работу контейнерного терминала обеспечивает его персонал, участники логистических цепей:

- перевозчик – владелец транспортного средства и инфраструктуры, необходимой для осуществления перевозки груза (компании Maersk, FESCO, MSC, APL и др.) [4]
- стивидор – компания-владелец портовой инфраструктуры: портовых кранов, причалов, терминалов для хранения и обработки грузов, ричстакеров (контейнерных погрузчиков) и иного необходимого портового хозяйства [4]
- тальман – форма и деятельность тальмана (осуществляет деятельность в порту) аналогична деятельности сюрвейера (оценивает товар на складе) [4]
- работники центрального планирования (central planners) – составляют грузовой план всей цепочки поставок.

Современный контейнерный причал порта, оснащенный 4-мя кранами для обработки контейнеров, способен обрабатывать 400000–600000 TEU ежегодно. Работа контейнерных терминалов позволяет снижать издержкостоемость, быстро и качественно обрабатывать грузы, обеспечивать непрерывное движение грузопотока и производственные показатели скорости обработки грузов. Территории, расположенные вблизи контейнерных терминалов, имеют тенденцию к высокой концентрации действий, связанных с распределением грузов, таких как распределительные центры, склады для хранения пустых контейнеров, автотранспортные компании и крупные предприятия розничной торговли.

### Библиографический список

1. Поспелов А. М. Организация работы контейнерного терминала. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 237 с.
2. Кириченко А. В., Рычков Д. О., Фетисов В. А. Организация грузовых мест в логистике. СПб.: ГУАП, 2009. 244 с.
3. Панасенко Н. Н., Яковлев П. В. Порты, портовое хозяйство и транспортная логистика. 2016. 116 с.
4. Онлайн-журнал «Практическая логистика». URL: <http://samlogist.ru/osnovny-e-uchastniki-logisticheskikh-tseпочek/> (дата обращения: 10.04.2019).

УДК 658.7(075.8)

**А. И. Ким**

студент кафедры системного анализа и логистики

**А. В. Гурьянов** – кандидат экономических наук – научный руководитель

### ЦЕПИ ПОСТАВОК С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ КОНКУРЕНЦИИ

В современной экономике транспортировка и доставка товаров конечному потребителю включает множество действующих лиц: производителей, подрядчиков, снабженческих организаций, посредников и других участников рынка, составляющих логистическую цепь. Используя приведенные в статье модели можно анализировать различные стратегии функционирования логистической системы с учетом совместного влияния поставщиков, потребителей, логистических операторов на эффективность их деятельности.

Транспортная логистика обеспечивает основу для взаимосвязей и создания цепей поставок в экономической деятельности, согласование экономических интересов всех участников транспортной цепи поставок товаров и устранение основных разрывов в цепях участников системы товародвижения. В современной глобальной экономике при разветвленных дистрибутивных сетях транспортировка является критическим узлом в цепях поставок, поскольку без своевременной доставки товаров не будет обеспечено функционирование производственных процессов и произведенные товары не будут доставлены конечному потребителю. Однако современная логистика рассматривает транспортировку не только как изолированный этап доставки товаров, концепция сервис-ориентированной логистики требует предоставления основного продукта (транспортировки) в совокупности с сервисной оболочкой. Поэтому при реализации интегральной парадигмы осуществляется предоставление множества сервисных услуг, связанных с организацией товародвижения начиная с выбора метода транспортировки и заканчивая предоставлением информации о местонахождении товара и транспортного средства в реальном режиме времени. Информационное обеспечение должно позволять планировать логистические цепи поставок по оптимальным маршрутам, с использованием рационального вида транспорта и терминальных комплексов. Каждый из предлагаемых вариантов должен сопровождаться оценкой затрат на совершение поездки или доставки груза. Это особенно важно, так как результаты исследований показывают, что затраты на транспортировку и управление запасами составляют значительную часть общих логистических затрат и эти затраты имеют тенденцию к возрастанию (рис. 1, 2).

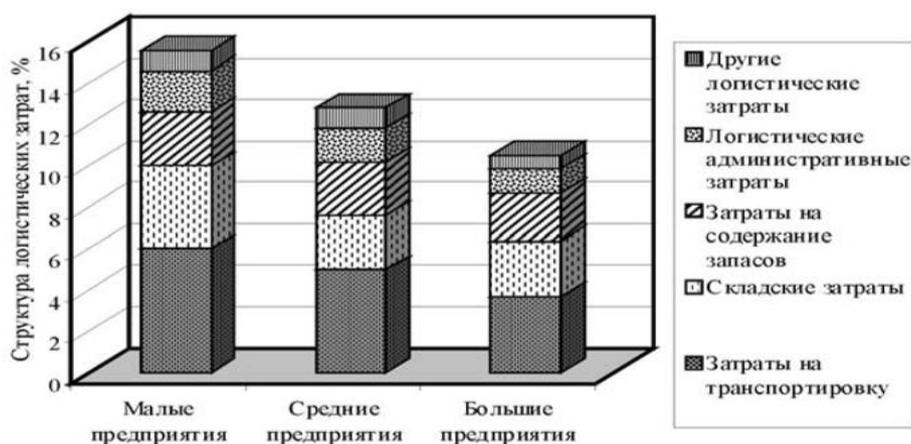


Рис. 1. Структура логистических затрат



Рис. 2. Оценка изменения логистических затрат

Такое динамическое развитие соответствует стратегии транспортной логистики. Это приводит к тому, что цепи поставок постоянно расширяются, включая не только непосредственно производителей, но и их подрядчиков, снабженческие организации, совместные предприятия. В этих условиях нарушения в любом звене цепи поставок могут оказывать негативное воздействие не только на функционирование предприятия-производителя, но и на других участников этой цепи поставок. Поэтому необходимо создавать модели цепей поставок для оценки различных сценариев.

Рассмотрим комплексную структурную модель цепи поставок. Эту структурную модель можно представить в нескольких вариантах – как более упрощенную на конечном этапе функционирования предприятия, которую можно соотнести с микрологистической системой предприятия, так и полную модель для макрологистической системы.

При полном варианте модели цепи поставок на макроуровне необходимо начинать с представления макроуровня, который включает множество концернов или компаний  $i \in I$ . В свою очередь эти компании имеют в своей структуре множество различных предприятий, функционирующих на рынке услуг региона  $m \in M$ . Каждая производственная структура в рамках управляющих воздействий и ограничений своего концерна определяет оптимальную производственно-экономическую стратегию. Производители продукции или услуг при организации цепи поставок взаимодействуют с компаниями и логистическими провайдерами, которые связывают производителей и покупателей, обеспечивают продажи товаров и услуг, обработку товаров, хранение запасов, обеспечение сервиса; множество таких компаний составляет  $j \in J$ . Естественно, что продвижение товаров по цепи поставок обеспечивается различными транспортными операторами  $t \in T$ . Вся эта структурная модель функционирует для обеспечения  $k \in K$  потребителей на рынке товаров и услуг.

Рассмотрим достаточно существенные различия, на которых строится модель цепи поставок для рассмотренной структурной схемы. В большинстве случаев при выборе оптимальных вариантов функционирования логистических систем используется критерий минимума полных логистических затрат. Однако такой подход определенным образом идеализирует ситуацию. В реальной экономике существует конкурентная среда, и предприятия функционируют, прежде всего, исходя из целевых критериев, направленных на максимизацию прибыли, поэтому необходимо рассматривать баланс между критериями максимизации прибыли и критериями минимизации логистических затрат. Фактически необходимо применять многокритериальные подходы. Поэтому в приведенной структурной модели предположим целевую функцию как максимизацию прибыли каждым предприятием с учетом дохода от производства, затрат на производство продукции и транзакционных издержек:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \rho_{1imj}^* q_{imj} - \sum_{m=1}^M f_{im}(q_m) - \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J c_{imj}(q_{imj}) \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^J q_{imj} = q_{im}, \quad m=1, \dots, M;$$

$$q_{imj} \geq 0, m=1, \dots, M; j=1, \dots, J,$$

где  $\rho_{imj}^*$  – стоимость единицы продукции, произведенной в  $i$ -й компании производителем  $m$ , при распределении и продаже дистрибьютером  $j$ ;  $q_{imj}$  – объем продукции, произведенной в  $i$ -й компании производителем  $m$ , при распределении и продаже дистрибьютером  $j$ ;  $f_{im}(q_m)$  – функция стоимости производства в  $i$ -й компании производителем  $m$ , при распределении и продаже дистрибьютером  $j$ ;  $c_{imj}(q_{imj})$  – транзакционные издержки в  $i$ -й компании производителем  $m$ , при распределении и продаже дистрибьютером  $j$ .

Приведенная модель (1) основана на выполнении равенства материальных потоков произведенной и потребляемой продукции. Это относится к потокам  $Q_{11}, \dots, Q_{im}, \dots, Q_{IM}$  на связях между головными компаниями и входящими в них производителями, материальным потокам  $Q^1$  между производителями и логистическими провайдерами, материальным потокам  $Q^2$  между логистическими провайдерами и потребителями. Можно допустить следующее условие сохранения материальных потоков в этих каналах:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T q_{jk}^t = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M q_{imj}, j=1, \dots, J, \quad (2)$$

где  $k$  – множество потребителей товаров и услуг на рынке дорожного хозяйства региона;  $t$  – множество транспортных операторов, обеспечивающих продвижение продукции в цепи поставок;  $i$  – множество концернов или компаний, действующих на региональном рынке;  $m$  – множество производителей, структурно входящих в концерны или компании.

Последнее условие можно объяснить таким образом, что общий объем продукции, проданный или реализованный потребителям, равен общему объему произведенной продукции. При этом, конечно, каждый дистрибьютор в цепи поставок стремится максимизировать собственную прибыль. Для того чтобы в полной мере иметь возможность формирования цепей поставок, необходимо составить модель транспортной сети, по которой осуществляются поставки, и сформировать критерии эластичного спроса для распределения потоков в сети. Модель сети должна включать в себя совокупность узлов, возможных связей между узлами, мест расположения всех участников цепи поставок, матрицу связей между пунктами отправления и назначения. В этой модели также должно выполняться условие равновесия потоков в сети:

$$f_a = \sum_{p \in P} x_p \delta_{ap}, \forall a \in L, \quad (3)$$

$\delta = 1$ , если связь  $a$  входит в путь  $p$ ,

$\delta = 0$ , если связь  $a$  не входит в путь  $p$ ,

где  $a$  – связи между узлами сети, входящие во множество  $L$ ;  $f_a$  – материальный поток на связи  $a$ ;  $x_p$  – материальный поток на пути  $p$ .

Затраты на транспортировку материального потока по всей цепи поставок суммируются по каждой связи, и это можно описать следующим образом:

$$c_p = \sum_{a \in L} c_a \delta_{ap}, \forall p \in P, \quad (4)$$

где  $c_p$  – затраты на транспортировку материального потока по всей цепи поставок;  $c_a$  – затраты на транспортировку потока по связи  $a$ .

Информацию об этих затратах необходимо затем использовать в модели динамического равновесия в сети, сущность которой описывается в следующей форме: если в каждый момент времени для

каждой пары матрицы OD издержки на единицу потока на рассматриваемом маршруте равны минимальным затратам именно в это время, то данная модель потоковых процессов соответствует состоянию динамического равновесия потока. Этот подход также известен как метод адаптивного распределения и может быть реализован в логистических системах при доступе к информации в реальном режиме времени.

Проблема динамического распределения потоков в сети должна быть сформулирована в общем пространстве маршрутов потоков  $h_k(t)$  для всех маршрутов  $k \in K_j$ , представляющих совокупность возможных маршрутов для каждой  $i$ -й OD пары в момент времени  $t$ . Оценка маршрутов потоков в исследуемой области  $\Omega$  удовлетворяют в любой момент времени  $t \in (0, T)$  потоку сохранения и неотрицательному ограничению, входящему в это условие:

$$\Omega = \left\{ h(t) \mid \sum_{k \in K_i} h_k(t) = g_i(t), i \in I; h_k(t) \geq 0 \right\} \quad (5)$$

где  $I$  – совокупность всех OD пар в сети;  $T$  – время моделирования;  $g_i(t)$  – доля спроса для  $i$ -й пары OD во временном интервале  $t$ .

Этот подход допускает, что оптимальные пользователи в равновесных условиях могут быть определены следующим образом:

$$S_k(t) = \begin{cases} u_i(t) & \text{если } h_k(t) > 0 \\ \geq u_i(t) & \text{в ином случае} \end{cases} \quad (6)$$

$$u(t) = \min_{k \in K_i} \{ S_k(t) \},$$

где  $S_k(t)$  – время прохождения  $k$ -го участка маршрута.

Методы динамического распределения потоков в сети позволяют также в интегрированной оболочке реализовать различные стратегии управления запасами. Практические примеры функционирования наиболее эффективных логистических систем показывают, что политика управления запасами должна быть интегрированной. Поэтому необходимы дифференцированные подходы при разработке интегрированных моделей управления запасами в цепях поставок, которые обеспечивают принятие общих решений в логистических системах при управлении запасами и конкурентных решений в вопросах производственной деятельности. Таким образом, для создания моделей управления запасами необходимо сформулировать условия взаимодействия производителей, потребителей и посредников в логистических системах. Как и в реальных логистических системах, потребители находятся в различных пунктах и различаются по уровню спроса. Но в соответствии с классическими моделями экономики функция спроса для каждого потребителя является идентичной по основным свойствам – функция спроса является убывающей и выпуклой относительно цены продукта. Таким образом, необходимо установить стратегию управления запасами в логистической системе при условиях, когда производитель имеет целью максимизацию прибыли, имеет возможности задавать основные параметры системы управления запасами, в то же время каждый потребитель проводит самостоятельную экономическую политику.

Минимальное значение прибыли  $C_p^{\min}$  для заданного объема поставляемой продукции  $P$  вычисляется по уравнению:

$$P = \sum_{i=1}^m D_i \left( p_i^* \left( C_p^{\min} \right) \right), \quad (7)$$

где  $P$  – общий объем поставляемой продукции;  $P_i$  – стоимость поставляемой продукции для  $i$ -го потребителя;  $D_i$  – функция спроса для  $i$ -го потребителя.

Общая функция спроса  $D_i$  обычно описывается моделью Кобба – Дугласа. Оценка параметров функции Кобба – Дугласа, которая задает зависимость объема поставляемой продукции имеет вид:

$$D_i(p_i) = K_i p_i^{-e p_i}; \quad (8)$$

где  $K_i$  – коэффициент функции спроса для  $i$ -го потребителя;  $e^{pi}$  – коэффициент эластичности функции спроса.

Для этого значения оптовой цены определяется общая прибыль:

$$NP_m(c_p^{\min}) = \sum_{i=1}^m D_i(p_i^*(c_p^{\min})) (c_p^{\min} + \zeta_i - c_m - \phi_i) - \sqrt{2H_p \left( \sum_{i=1}^m \frac{D_i(p_i^*(c_p^{\min}))^2}{P} + \sum_{i=1}^m \frac{D_i(p_i^*(c_p^{\min})) L_{bi} H_{bi}}{L_{bi} + H_{bi}} \right) \left( \sum_{i=1}^m S_{bi} \right)} \quad (9)$$

где  $\phi_i$  – транспортные затраты на доставку товара для  $i$ -го потребителя;  $L_{bi}$  – затраты на заказ для  $i$ -го потребителя;  $c_p$  – оптовая цена единицы продукции;  $\zeta_i$  – затраты на создание и хранение запасов для  $i$ -го потребителя;  $S_{bi}$  – фиксированные расходы производителя по управлению запасами для  $i$ -го потребителя;  $H_p$  – затраты на содержание запасов производителем;  $c_m$  – стоимость произведенной единицы продукции.

На следующем шаге определяется оптимальное значение оптовой цены в цепи поставок по следующим уравнениям:

$$NP_m(c_p) = \sum_{i=1}^m D_i(p_i^*(c_p)) (c_p + \zeta_i - c_m - \phi_i) - \sqrt{2H_p \left( \sum_{i=1}^m \frac{D_i(p_i^*(c_p))^2}{P} + \sum_{i=1}^m \frac{D_i(p_i^*(c_p)) L_{bi} H_{bi}}{L_{bi} + H_{bi}} \right) \left( \sum_{i=1}^m S_{bi} \right)} \quad (10)$$

при условии

$$\frac{\partial NP(c_p)}{\partial c_p} = 0. \quad (11)$$

Модельное исследование различных сценариев поведения логистической системы с учетом конкуренции между логистическими операторами показывает, что предложенные экономико-математические модели имеют ряд ценных отличительных свойств. Прежде всего, это влияние коэффициента эластичности каждого логистического оператора на общую ситуацию на рынке логистических услуг, как это и происходит в реальных экономических системах.

Таким образом, при реализации рассмотренного подхода получена комплексная модель функционирования логистической системы, которая имеет следующие отличительные свойства: анализируется поведение одновременно множества участников логистических процессов, ведущих конкурентную борьбу; модель управления запасами построена на принципах интеграции, при моделировании учитываются как критерии минимизации логистических затрат, так и критерии прибыли предприятий. Очевидно, что такие свойства модели приближаются к реальным условиям функционирования логистических систем. Используя приведенные в статье модели можно анализировать различные стратегии функционирования логистической системы с учетом совместного влияния поставщиков, потребителей, логистических операторов на эффективность их деятельности.

### Библиографический список

1. Бауэрсокс Д., Клосс Д. Логистика. Интегрированная цепь поставок / Пер. с англ. М.: ЗАО «ОлимпБизнес», 2001.
2. Миротин Л. Б., Некрасов А. Г. Логистика интегрированных цепочек поставок. М.: Экзамен, 2003.
3. Модели и методы теории логистики / Под ред. В. С. Лукинского. СПб.: Питер, 2003.

УДК 656.025

**Н. А. Куршина**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ 2-ГО УРОВНЯ

Высокий рост населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области дал мощный толчок для развития системы транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) 2-го уровня. Более 60% поездок совершаются с использованием двух и более видов транспорта. Транспортно-пересадочный узел – это пассажирский комплекс, выполняющий функции по перераспределению пассажиропотоков между видами транспорта и направлениями движения.

Согласно положению о формировании транспортно-пересадочных узлов в Санкт-Петербурге, в зависимости от видов сообщения пассажирского транспорта, участвующих в перевозке пассажиров, ТПУ подразделяются на ТПУ первого, второго и третьего уровней.

ТПУ первого уровня – ТПУ, обслуживающий пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой в отношении международных, междугородних, пригородных и городских маршрутов транспорта.

ТПУ второго уровня – ТПУ, обслуживающий пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой в отношении междугородних, пригородных и городских маршрутов транспорта.

ТПУ третьего уровня – ТПУ, обслуживающий пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой в отношении маршрутов различных видов городского транспорта.

К транспортно-пересадочным узлам второго уровня Санкт-Петербурга относятся 22 пассажирских комплекса. В табл. 1 представлено краткое описание и состав ТПУ а также перспектива его развития [1].

Таблица 1

**Описание ТПУ 2-го уровня, перспективы развития**

№	ТПУ	Состав ТПУ	Перспективы развития ТПУ
1	2	3	4
1	Балтийская	Ж.-д вокзал, станция метро, остановки городского пассажирского транспорта, парковка	Строительство второго выхода станции метро, внеуличных пешеходных переходов, пешеходных галереи, остановки ГПТ, стоянка (такси, автобусы), паркинг.
2	Южная (Шушары)	Перспективная станция метро, остановки трамваев, автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на базе перспективной станции метро. Строительство перехватывающей парковки
3	Павловск	Ж.-д. станция, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Строительство крытых пешеходных галерей, перехватывающего паркинга
4	Кондакопшино	Ж.-д. станция, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на базе ж.-д. станции «Кондакопшино»
5	Удельная	Станция метро, ж.-д. станция, остановки трамваев, автобусов	Строительство пешеходного перехода через железнодорожные пути, пешеходных галерей, автобусного кольца, перехватывающего паркинга
6	Старая Деревня	Станция метро, ж.-д. станция, остановки трамваев, троллейбусов, автобусов, перехватывающая парковка	Строительство пешеходных галерей к конечным остановкам автобусов и трамваев от станции метро, реконструкция ж.-д. станции, строительство перехватывающей парковки
7	Купчино	Станция метро, ж.-д. станция, остановки трамваев, троллейбусов,	Строительство автовокзала. Перехватывающего паркинга

№	ТПУ	Состав ТПУ	Перспективы развития ТПУ
		автобусов, перспективный автовокзал	
8	Рыбацкое	Станция метро, ж.-д. станция, остановки трамваев, автобусов, перехватывающая парковка	Строительство пешеходных галерей, трамвайной остановки, перехватывающего паркинга
9	Шушары	Ж.-д. станция, автобусные остановки, парковка	Проектирование и строительство ТПУ на базе ж.-д. станции, парковка
10	Царское Село	Ж.-д. станция, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, перехватывающие парковки
11	Сосновая Поляна	Ж.-д. станция, перспективная станция метро, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции и перспективной станции метро.
12	Сестрорецк	Ж.-д. станция, остановки автобусов, парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, строительство пешеходных галерей, остановки ГПТ, парковки
13	Зеленогорск	Ж.-д. станция, остановки автобусов, парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, строительство пешеходных галерей, остановки ГПТ, парковки
14	Колпино	Ж.-д. станция, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, строительство пешеходных галерей, остановки ГПТ, перехватывающая парковка
15	Понтонный	Ж.-д. станция, остановки автобусов, парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, строительство пешеходных галерей, остановки ГПТ, перехватывающая парковка
16	Красное Село	Ж.-д. станция, остановки автобусов, перехватывающая парковка	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции, строительство пешеходных галерей, остановки ГПТ, перехватывающая парковка
17	Лахта	Ж.-д. станция, остановки трамваев, троллейбусов, автобусов, перспективная станция метро	Обустройство пешеходных маршрутов от ж.-д. станции до остановок трамвая, строительство навесов на остановках, в перспективе включение в состав ТПУ станции метро и перехватывающего паркинга
18	Пискаревка	Ж.-д. станция, остановки трамваев, троллейбусов, автобусов, перспективная станция метро	Обустройство пешеходных маршрутов от ж.-д. станции до остановок трамвая, строительство навесов на остановках, в перспективе включение в состав ТПУ станции метро и перехватывающего паркинга
19	Ржевка	Ж.-д. станция, остановки автобусов, трамвая	Строительство пешеходных галерей, остановок ГПТ, парковка
20	Ручьи	Ж.-д. станция, остановки автобусов, трамвая	Строительство пешеходных галерей, остановок ГПТ, парковка
21	Парголово	Ж.-д. станция, перспективные станция метро, автобусные остановки	Проектирование и строительство ТПУ на основе ж.-д. станции и перспективной станции метро
22	Ульянка	Ж.-д. станция, перспективные станция метро, автобусные остановки	Проектирование и строительство ТПУ на основе железнодорожной станции и перспективной станции метро

Транспортно-пересадочный узел имеет две функции: транспортную, с расположенными на ней устройствами посадки, высадки, пересадки с системой автостоянок, пешеходными путями; общественную, с объектами обслуживания, офисами, учреждениями управления связи и др.

Качество обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах регламентируется действующей нормативной документацией тремя основными показателями: временем, необходимым пассажирам для передвижения при пересадке, дальностью пешеходного подхода от остановочных пунктов наземного транспорта и плотностью пешеходного потока.

В процессе оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ предусматриваются следующие этапы:

- отбор критериев и формирование показателей качества;
- выявление значимости сформированных показателей;
- определение значения факторов влияния и показателей качества;
- вычисление комплексного показателя качества.

При отборе критериев и формировании показателей, влияющих на качество обслуживания в ТПУ, необходимо учитывать:

– технические показатели качества, или то, что пассажиру предоставляется (прием заказов по телефону с доставкой билетов по адресу или последующим оформлением самим клиентом в кассе, отдых в зале ожидания повышенной комфортности, наличие удобных и безопасных маршрутов следования в пределах ТПУ, услуги такси, паркинга и т. п.);

– функциональные показатели качества – каким образом предоставляется услуга (индивидуальный подход к пассажиру, внимание, вежливость, минимальное время оформления заказа, исчерпывающие ответы на вопросы и т. п.).

«При изучении потребностей пассажиров и посетителей ТПУ могут применяться анкетирование, интервьюирование, наблюдение, анализ, но во всех случаях оценка осуществляется путем сопоставления фактических и нормативных показателей качества» [2]. В табл. 2 приведены критерии и показатели качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ.

Основным направлением ТПУ является осуществление междугородных, пригородных и городских перевозок пассажиров, а значит каждый пассажирский комплекс включает в себя железнодорожную станцию либо автобусную остановку. Станции городской железной дороги и автобусные вокзалы являются ключевыми элементами транспортной инфраструктуры, образующими систему ТПУ в крупных городах и мегаполисах. Они включают вполне стандартный набор основных функциональных элементов: входные группы, кассовые залы, контрольно-пропускные пункты, эскалаторы или лестничные сходы, платформы и залы ожидания.

Таблица 2

**Критерии оценки качества обслуживания ТПУ**

№	Критерий	Показатель
1	Парковка	Наличие бесплатной парковки Время попадания в ТПУ из зоны парковки Наличие мест парковки
2	Ориентация пассажиров в ТПУ	Простота ориентации
3	Информационные табло	Оперативность и полнота представленной информации
4	Персонал ТПУ	Внешний вид и культура общения
5	Зоны ожидания	Наличие необходимого и комфортного числа сидячих мест для ожидания
6	Места общественного питания и розничная торговля	Их наличие и доступность
7	Обслуживание маломобильных групп населения	Возможность организации передвижения маломобильных групп населения
8	Безопасность	Обеспечение безопасности пассажиров ТПУ

В заключение можно сказать, что сравниваемые ТПУ требуют реконструкции и разработки. Главной целью является качественный рост уровня обслуживания пассажиров и повышения комфортности среды обитания в городе. При разработке проекта планировки ТПУ первостепенной задачей является удовлетворение потребностей в доступе для пассажиров к транспорту, что влечет за собой уменьшение затрат времени при передвижении в ТПУ.

#### **Библиографический список**

1. Губернатор Санкт-Петербурга Г. С. Полтавченко. Положение о формировании транспортно-пересадочных узлов Санкт-Петербурга. URL: <http://uverenniy.ru/o-formirovanii-transportno-peresadochnih-uzlov-v-sankt-peterbu.html> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Евреенова Н. Ю. Моделирование функционирования транспортно-пересадочного узла // Мир транспорта. 2014. № 5. С. 170–176.
3. Азаренкова З. В., Степанова Л. Н. Общественно-транспортные центры в современных градостроительных условиях // Транспорт (Наука, техника и управление). 2015. № 12. С. 51–60.

УДК 656.7

**А. С. Костин**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ НА УЧЕТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Беспилотные летательные аппараты с каждым годом увеличивают свое участие в жизни общества, интегрируясь в самые разнообразные области применения. Фактически, быстрое появление беспилотных летательных аппаратов за последнее десятилетие привело к тому, что многие представители авиационной и космической промышленности стали рассматривать эти транспортные средства как важные компоненты будущей системы воздушного транспорта [1].

В 2018 году в России было приобретено примерно 160 тыс. беспилотных летательных аппаратов, что на 70% больше, чем годом ранее, чему во многом способствовал высокий спрос на дешевые изделия. В денежном эквиваленте объем рынка вырос на 53% и достиг 1,9 млрд рублей, свидетельствуют данные группы «М.Видео-Эльдорадо». У самого ритейлера годовые продажи БЛА подскочили более чем вдвое [2].

Самыми популярными в 2018 году стали бюджетные беспилотники стоимостью до 7 тыс. рублей. За счет их появления на рынке средняя цена на БПЛА снизилась на 10% по сравнению с 2017 годом и составила 1,9 тыс. рублей [2].

При этом в три раза выросла реализация устройств, оснащенных камерой с разрешением 4K или FullHD, функцией следования за владельцем и противоударным корпусом. Такие беспилотники в 2018 году заняли 10% рынка и используются преимущественно для профессиональной съемки: записи на мероприятиях, мониторинга, логистики, охраны или агробизнеса. 30% рынка приходится на устройства, снимающие видео в стандартном разрешении [2].

Аналитики «М.Видео-Эльдорадо» также отмечают растущий из года в год спрос на БЛА ценою от 30 тыс. рублей. Устройства массой до 250 граммов заняли до 70% российского рынка БПЛА, что обусловлено законодательными ограничениями: более тяжелые устройства необходимо регистрировать [2].

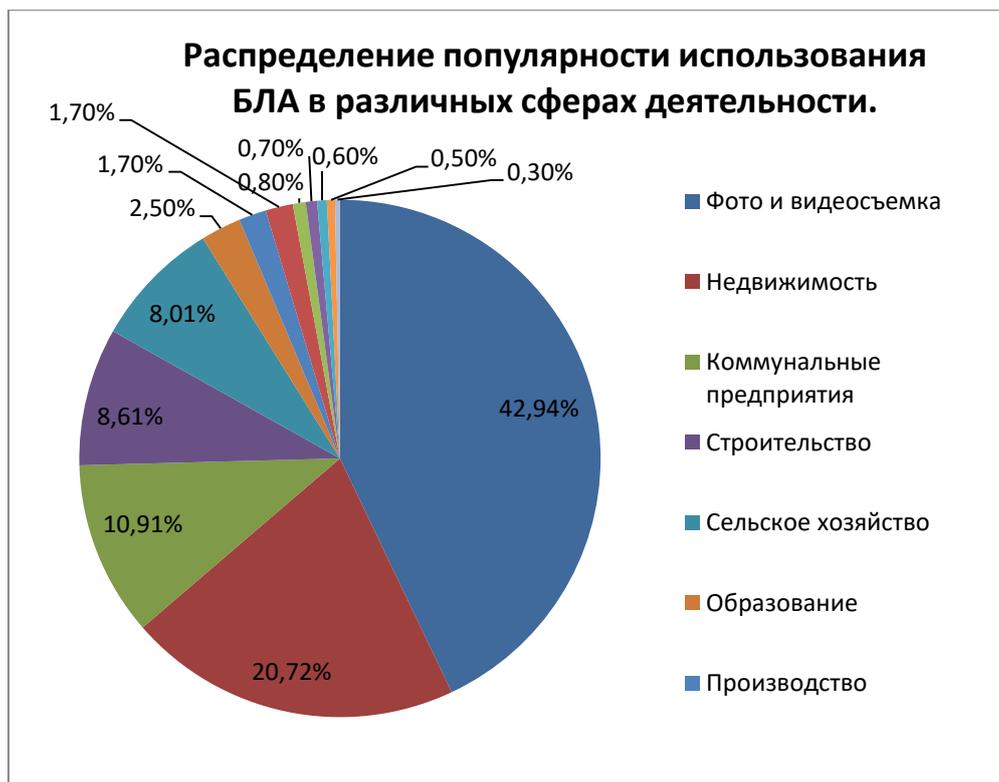


Рис. 1. Статистика использования гражданских БЛА в различных сферах деятельности [1]

К сожалению, технический прогресс в области беспилотной летательной техники имеет и обратную сторону – существует возможность использования БЛА в террористических и разведывательных целях [2].

В Госдуму РФ внесен законопроект, который предлагает ограничить полеты беспилотных летательных аппаратов в отдельных зонах воздушного пространства. Те аппараты, которые все-таки будут залетать на запрещенные территории, правоохранители смогут на законных основаниях повреждать или уничтожать [3].

Разрешается также подавлять или преобразовывать сигналы дистанционного управления БЛА-нарушителями и изымать у владельцев всю систему или отдельные ее части. Текст законопроекта можно найти на сайте системы обеспечения законотворческой деятельности (СОЗД) [3].

Согласно законопроекту, БЛА будет запрещено летать над объектами государственной охраны и трассами их проезда, охраняемыми объектами и прилегающими зонами. Также в тексте упоминаются территории, где проводятся неотложные следственные действия, оперативно-розыскные и антитеррористические мероприятия [3].

Полеты беспилотников будут ограничиваться или запрещаться в том числе над местами проведения массовых мероприятий. Для этого необходимо направить соответствующее уведомление в орган, который контролирует использование воздушного пространства. Кроме того, БЛА не смогут летать над местами выполнения войсками национальной гвардии боевых задач [3].

При этом в России до 50 тысяч рублей может вырасти штраф для физических лиц за использование незарегистрированных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Данная сумма в десять раз превышает штраф, который был предусмотрен до сих пор – до 5 тысяч рублей [3].

В совокупности с отсутствием контроля в закрытых для полета зонах, а также возросшее количество БЛА представляет собой серьезную проблему. Для создания системы учета беспилотных воздушных судов с целью осуществления исполнения требований федерального закона от 03 июля 2016 года № 291-ФЗ «О внесении изменений в воздушный кодекс» в части реализации государственного учета беспилотных воздушных судов взлетной массой от 250 грамм до 30 килограмм с 05 июля 2017 года ФГУП «ЗащитаИнфоТранс» разработала методику идентификации малых беспилотников, которые необходимо будет ставить на учет. В качестве номерного знака на БЛА будут ставить активную RFID-метку, которая позволит считывать информацию о беспилотнике и его владельце на расстоянии до 300 м [4]. Для отладки системы учета БПЛА и маркировки БПЛА по технологии RFID (англ. Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) между ФГУП «ЗащитаИнфоТранс» и ГК «Беспилотные системы» было заключено соглашение [4].

RFID (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация) – это технология бесконтактного обмена данными, основанная на использовании радиочастотного электромагнитного излучения. RFID применяется для автоматической идентификации и учета объектов [5].

RFID-метка – миниатюрное запоминающее устройство. Она состоит из микрочипа, который хранит информацию, и антенны, с помощью которой метка передает и получает данные. Иногда RFID-метка имеет собственный источник питания (активная), но большинство меток во внешнем питании не нуждаются (пассивная). Когда метка попадает в зону регистрации, эта информация принимается RFID-считывателем [7].

Для передачи данных пассивные RFID-метки используют энергию поля считывателя. Накопив необходимое количество энергии, метка начинает передачу. Дистанция регистрации пассивных меток 0,05–8 м, в зависимости от типа RFID-считывателя и архитектуры метки [7].

Компоненты RFID-системы:

RFID-метки – устройства, способные хранить и передавать данные. В памяти меток содержится уникальный идентификационный код. У некоторых RFID-меток память может перезаписываться [7].

RFID-считыватели – приборы, которые читают информацию с меток и записывают в них данные. Подключаются к учетной системе и работают автономно [7].

Общая классификация устройств работы с RFID-метками подразделяется на следующие категории (исходя из наличия опций и возможностей):

– по виду исполнения: настольные, мобильные, стационарные, встраиваемые или модульные;

- по сферам применения. Использование ридеров столь широкое, что можно привести лишь некоторые из сфер: складская логистика, учет продукции, инвентаризация, защита ценностей от краж, учет перемещения людей, библиотеки и архивы, автотранспорт, производство и многие другие [7];
- по наличию антенны: встроенная, внешняя или несколько внешних [7];
- по дальности считывания: малая (сантиметры), средняя (десятки сантиметров, метры), дальняя (метры, десятки метров и дальше) [7];
- по возможностям работы с метками различных стандартов: ISO 14443, ISO 15693, ISO 18000-3x, ISO 18000-6x (EPC Class1 Gen2) [7];
- по наличию коммуникационных интерфейсов: RS232, RS485, Ethernet, USB, USB-Host, Bluetooth, Wi-Fi, Data-clock, Wiegand, Magnet card [7];
- по наличию портов ввода/вывода для работы со сторонним оборудованием (передача сигнала, например, управляя реле / прием сигнала, например с цифрового порта от датчика движения) [7];
- по режимам работы: автономное, под управлением компьютера или другого устройства, комбинированное [7];
- по прочим дополнительным надстройкам.

Учетная система – программное обеспечение, которое накапливает и анализирует полученную с меток информацию и связывает все элементы в единую систему. Современные учетные системы (программы семейства 1С, корпоративные информационные системы – MS Axapta, R3Com) совместимы с RFID-технологией и не требуют специальной доработки.

ФИО кратко:	ФИО кратко. (Пример: Иванов И.И.)
Дата рождения:	10.04.2001
Населенный пункт:	Выберите из списка или введите текст для поиска <span>Очистить</span>
Субъект:	Автоматически заполняется при выборе населенного пункта <span>Очистить</span>
Регион:	Автоматически заполняется при выборе населенного пункта <span>Очистить</span>
Улица:	С указанием ул., пер., пр., и т.д.
Дом:	С указанием д., вл. и т.д. Указывается без номера корпуса или строения.
Корпус / строение:	С указанием корп., стр., и т.д. Если нет - оставьте поле пустым.
Квартира:	Если нет, впишите в поле "частный дом".
Почтовый индекс:	Укажите индекс почтового адреса
Почтовый адрес:	Если адрес тот же, что и адрес регистрации, поле можно оставить пустым
Электронная почта:	Укажите действующий адрес электронной почты
Контактный телефон:	Контактный телефон для связи и уведомлений
Серия и номер паспорта:	_____
Примечания:	Вы можете указать дополнительную информацию
Даю согласие на <a href="#">обработку</a> персональных данных:	<input checked="" type="checkbox"/>
Пароль:	Для смены пароля укажите новый
Фотография:	Нажмите для выбора файла <span>Обзор...</span>

Максимальный размер файла: 1 мб.  
Допустимые форматы: .jpg, .jpeg, .gif, .png, .bmp

Рис. 2. Скриншот формы для заполнения персональных данных владельца БЛА [8]

Укажите сведения о БВС:

Укажите тип владельца:	<input type="text" value="Физическое лицо (текущий пользователь)"/>
Выберите производителя:	<input type="text" value="Выберите производителя из списка"/>
Выберите модель БВС:	<input type="text" value="Выберите модель указанного производителя"/>
Наименование :	<input type="text" value="Название БВС"/>
Серийный номер:	<input type="text" value="Серийный номер, установленный производителем"/>
Тип БВС :	<input type="text" value="Тип БВС из списка"/> <input type="button" value="Очистить"/>
Тип двигателя :	<input type="text" value="Тип двигателя из списка"/> <input type="button" value="Очистить"/>
Количество двигателей, шт. :	<input type="text" value="Кол-во двигателей"/>
Тип источника энергии :	<input type="text" value="Тип источника энергии из списка"/> <input type="button" value="Очистить"/>
Габариты БВС в мм (ДхШхВ) :	<input type="text" value="Габариты БВС в мм (ДхШхВ)"/>
Снаряженная масса, кг :	<input type="text" value="С источником энергии"/>
Основной цвет :	<input type="text" value="Основной цвет, покрывающий более 75% поверхности"/>
Оборудован для фото-видеосъемки :	<input type="text" value="Укажите фото-видео оборудование из списка"/> <input type="button" value="Очистить"/>
Примечание:	<input type="text" value="Свободная дополнительная информация"/>

Рис. 3. Скриншот формы для заполнения сведений о БЛА [8]

Укажите сведения о принадлежности БВС:

Дата возникновения прав собственности :	<input type="text" value=""/> <input type="button" value="i"/>
Основание возникновения прав собственности :	<input type="text" value=""/> <input type="button" value="Очистить"/>
Год выпуска :	<input type="text" value=""/>

Рис. 4. Скриншот формы для заполнения сведений о приобретении БЛА [8]

Для обеспечения функционирования системы радиочастотной идентификации необходимы следующие технические средства:

- компьютер или другое устройство, обладающее достаточным «интеллектом» для обработки и хранения данных об объектах учета в системе (ведение базы данных объектов);
- оборудование для записи информации на RFID-метки;
- считыватель (ридер);
- физические носители RFID-меток.

Для осуществления постановки БЛА на учет нужно предоставить сервису uavreg.ru персональные данные (рис. 2), а также данные об особенностях конструкции БЛА (рис. 3).

Добавьте не менее 1 фотографии БВС:

Вид спереди:	Нажмите для выбора файла	Обзор...
Вид сзади:	Нажмите для выбора файла	Обзор...
Вид справа:	Нажмите для выбора файла	Обзор...
Вид слева:	Нажмите для выбора файла	Обзор...
Вид сверху:	Нажмите для выбора файла	Обзор...

Максимальный размер одного изображения: 200 Кб.  
Допустимые форматы: .jpg, .jpeg, .gif, .png, .bmp

**Внимание!** Выполняя операцию постановки на учет вы подтверждаете своё согласие с [правилами учета](#).

Сохранить для редактирования

Поставить на учет

Рис. 5. Скриншот формы для добавления фотографий БЛА [8]

В результате заполнения всех необходимых сведений будет отправлено свидетельство о регистрации воздушного судна (рис. 6) и идентификационная метка, которая представляет собой RFID-метку.

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации беспилотного воздушного судна квадрокоптер DJI Mavic Pro	
<b>Владелец:</b>	Беленький Александр
<b>Город:</b>	
<b>Регистрационный №:</b>	000
<b>Дата регистрации:</b>	04.07.2017
<b>Тип БВС:</b>	Иное
<b>Производитель:</b>	DJI
<b>Серийный №:</b>	08
<b>Дата выпуска:</b>	2016
<b>Тип двигателя:</b>	Электродвигатель
<b>Кол-во двигателей:</b>	4
<b>Габариты БВС, мм:</b>	198x83x83
<b>Масса БВС, кг:</b>	0.70
<b>Фото-видео оборудование:</b>	Да
<b>UAV QR code:</b>	

Зарегистрировано в системе [UAVREG.ru](http://UAVREG.ru)

Рис. 6. Пример свидетельства регистрации БЛА

Однако система учета UAVREG.RU является добровольной отраслевой системой учета БВС и в настоящий момент служит исключительно целям получения статистики о количестве и типах используемых беспилотников на территории Российской Федерации. С момента принятия поправок в Воздушный кодекс (Федеральный закон от 03.07.2016 №291-ФЗ) Минтранс России так и не разработана простая и приемлемая процедура. Предлагаемый Минтрансом России порядок учета содержит избыточные требования, делающие процесс учета дорогим и необоснованно сложным для спортсменов-авиамоделлистов, детей, любителей беспилотников для хобби [8].

Кроме того, Минтрансом России проводится линия на обременение простой бюрократической процедуры учета дополнительными требованиями по техническому оборудованию БВС, что представ-

ляется необоснованным, поскольку требования к оборудованию воздушного судна устанавливаются Федеральными авиационными правилами (ФАП) [8].

Правительство России дважды возвращало проект нормативного акта на доработку в Минтранс России. Отрицательное заключение на предлагаемый порядок учета дало Минэкономразвития России [8].

Согласно поправке в Воздушный кодекс РФ, регистрацией беспилотников должна заниматься организация ФГУП «ЗащитаИнфоТранс». Однако на данный момент организация постановкой на учет беспилотных летательных аппаратов не занимается.

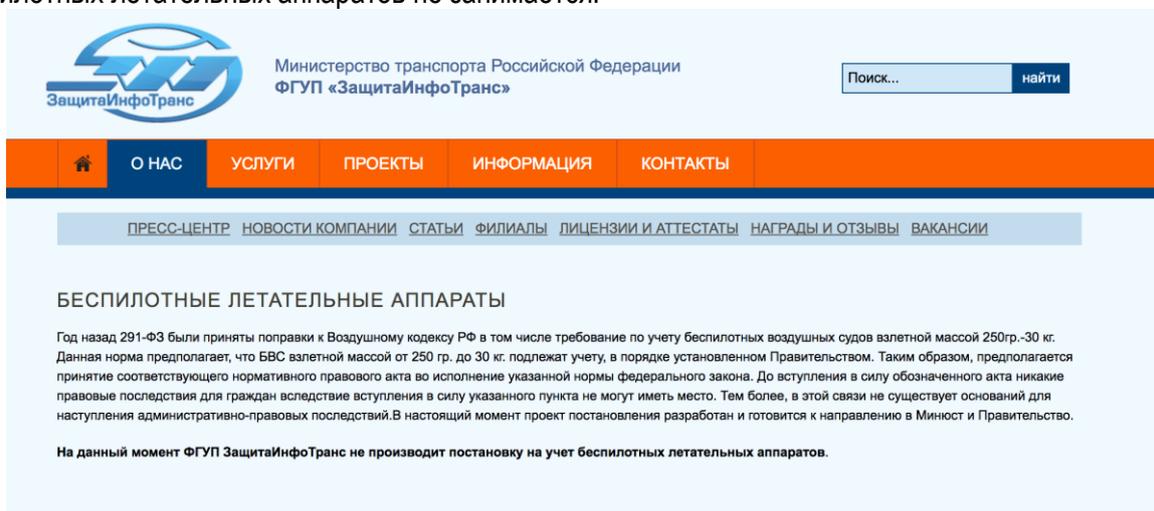


Рис. 7. Обращение ФГУП «ЗащитаИнфоТранс»

В итоге на данный момент не разработан единый порядок регистрации беспилотников, более того, если беспилотник взлетел без номера на борту или крыльях и без разрешения, то пользователю за нарушение воздушного пространства могут выписать штраф в пять тысяч рублей, должностное лицо может наказать на 20 тысяч рублей, а юридическое лицо – на 300 тысяч рублей.

Более того RFID-система потребует наличия считывающих устройств (считыватель, ридер или интеррогатор) в контролирующих органах, и транспондеров (RFID-метка) на каждом учтенном в базе данных БВС [9]. Это потребует затрат на изготовление RFID-меток, а также набора считывающих устройств [9]. Очевидно, при условии что учет БВС рассматривается проектом постановления в качестве государственной услуги, создание RFID-системы может стать дополнительной расходной частью федерального бюджета, либо станет обременительной частью затрат заявителя при прохождении процедуры учета БВС [9].

Целесообразность радиочастотной идентификации БВС требует обсуждения ввиду весьма малого радиуса действия RFID-системы, ограниченного в лучшем случае сотнями метров (до 300 м) от объекта с RFID-меткой, что для целей оперативного мониторинга БВС при их нахождении в воздухе представляется технически нецелесообразным. Расчетная дальность действия до 300 м реализуется только при использовании «активной» RFID-метки с встроенным источником питания, имеющей увеличенные габариты и вес, требующей периодической замены источника питания в процессе эксплуатации [9]. Ожидается, что при учете БВС заявителю будет направляться «пассивная» RFID-метка, радиус действия которой составляет несколько метров. Считывание информации RFID-меток в целях удаленной идентификации БВС на расстояниях, превышающих радиус действия RFID-системы, технически невозможен, что ставит под сомнение целесообразность оснащения БВС подобными устройствами [9].

Следует учитывать, что воздушное законодательство определяет ограниченный перечень технических средств, обеспечивающих наблюдение за полетами воздушных судов и их идентификацию – это вторичная радиолокация, многопозиционные системы наблюдения (МПСН) и автоматическое зависящее наблюдение (АЗН-В). При этом при реализации указанных систем предъявляются особые требования авиационной электросвязи по надежности, целостности и достоверности к каналам связи. RFID-системы таким требованиям не соответствуют [9].

Проектом постановления не определен способ размещения на элементах конструкции БВС учетного опознавательного знака, содержащего RFID-метку, что также несет потенциальную угрозу

безопасности полета БВС, связанную с вопросами электромагнитной совместимости с бортовым оборудованием БВС, а также с угрозой попадания в двигатель либо в винт БВС в случае его некачественного крепления [9].

Подводя итог можно сказать о том, что на данный момент не разработан единый алгоритм постановки на учет беспилотного летательного аппарата, а также требуется пересмотр метода их идентификации.

### Библиографический список

1. Костин А. С. Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения // Системный анализ и логистика. 2019. № 1(19). С. 70–80.
2. Российский рынок дронов подскочил на 70% благодаря дешевым аппаратам. URL: [https://russiandrone.ru/news/rossiyskiy\\_rynok\\_dronov\\_podskochil\\_na\\_70\\_blagodarya\\_deshevym\\_apparatam](https://russiandrone.ru/news/rossiyskiy_rynok_dronov_podskochil_na_70_blagodarya_deshevym_apparatam) (дата обращения: 14.03.2019).
3. Внесен законопроект по регулированию использования беспилотников. URL: <http://duma.gov.ru/news/29610> (дата обращения: 14.03.2019).
4. Теодорович Н. Н. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Науковедение. 2017. № 1. С. 1–7.
5. Регистрация БПЛА: Supercam в числе первых получают RFID-метки. URL: <http://unmanned.ru/news/2017-01-12.htm> (дата обращения: 14.03.2019).
6. Все, что вы хотели узнать о RFID-технологии. URL: <http://www.rst-invent.ru/faq> (дата обращения: 14.03.2019).
7. RFID-технология. Все о радиочастотной идентификации. URL: <http://www.rst-invent.ru/about/technology> (дата обращения: 14.03.2019).
8. Система учета беспилотных воздушных судов. URL: <https://www.uavreg.ru> (дата обращения: 14.03.2019).
9. ГОСНИИАС: Радиометки на беспилотниках технически бесполезны и даже опасны! URL: [https://aeronet.aero/news/2017\\_08\\_28\\_gosnii\\_as\\_radiometki\\_na\\_bespilotnikakh\\_tekhnicheskii\\_bespolezny](https://aeronet.aero/news/2017_08_28_gosnii_as_radiometki_na_bespilotnikakh_tekhnicheskii_bespolezny) (дата обращения: 14.03.2019).

УДК 378.147

**Е. С. Лабутина**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

### ПОНТОННАЯ ПЕРЕПРАВА САМОХОДНОЙ ТЕХНИКИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПАРОМНОЙ ПЕРЕПРАВЕ

Наиболее распространенным средством перемещения пассажиров и грузов между берегами водной преграды является паромная переправа.

Паромные переправы служат для перевозки людей, техники и грузов. Перевозка осуществляется с помощью самоходных или буксируемых паромов. К примеру, в отдалённых районах некоторых областей Российской Федерации в отдельных случаях паромная переправа является единственным средством связи между населёнными пунктами.

Транспортным средством являются самоходные или буксирные паромы.



*Рис. 1. Паромная переправа*

Паромные переправы получили широкое распространение ввиду следующих преимуществ:

1. Ускорение доставки грузов за счет сокращения времени на перевалку грузов и общего расстояния перевозок.
2. Сокращение простоев судов и вагонов.
3. Снижение затрат на погрузочно-разгрузочные работы и складское хранение грузов.
4. Сокращение издержек на амортизацию оборудования.
5. Экономия топлива.
6. Фиксированное расписание отправления и прибытия парома.
7. Четкое соблюдение транзитного времени.

Можно выделить следующие недостатки паромной транспортно-технологической системы:

1. При использовании паромов примерно вдвое уменьшается полезная масса груза (нетто) по сравнению с перевозкой обычным способом на судах такой же грузоподъемности.
2. Строительная стоимость паромов выше, чем обычных судов; крупных капитальных вложений требует береговое хозяйство – системы накопления и подачи вагонов, подъемно-сопрягающие устройства, дополнительные гидротехнические сооружения (шлюзовые бассейны при значительных колебаниях уровня воды) [1].

Эффективность применения паромов во многом зависит от географии осваиваемых с их помощью грузопотоков. Также, эффективность паромных переправ повышается с ростом величины и стабильности грузопотока, при котором обеспечивается более полное использование пропускной способности паромного комплекса [2].

В качестве альтернативы паромной переправе, предлагается использовать переправу понтонную.



Рис. 2. Понтонная переправа

Этот вид переправ используется в случаях, когда невозможно по финансовым или иным причинам построить постоянный мост. Основное применение понтонных мостов – организация временных переправ через водные преграды, однако в Мезенском, Лешуконском, Пинежском и Холмогорском районах Архангельской области встречаются и постоянно функционирующие понтонные и наплавные мосты.

Понтонная переправа представляет собой понтонный мост, основой которого являются опоры-понтонны.

Применение понтонных мостов широко распространено при организации временных переправ через водные преграды, при авариях, во время ремонта постоянных мостов, в военном деле, при ликвидации последствий стихийных бедствий [3].

С каждым годом развивается использование постоянно-функционирующих понтонных мостов.

В ряде городов России они являются основной транспортной артерией региона при организации перемещений груза водным сообщением, например, в Благовещенске, Павлове, Бийске, Уренгое, Спасске, Байконуре, Каменске-Шахтинском, Коротояке [4].

Использование грузового понтонного моста позволяет на несколько месяцев продлить грузоперевозки между двумя берегами. Ранее перемещение грузов между противоположными берегами приостанавливали в начале ноября в связи с закрытием навигации. Весной текущего года понтонные переправы простояли почти до середины апреля.

Имеется возможность перевозить максимальное количество грузов – мост выдерживает до 100 тонн.

Понтонны быстроразборные, перевозятся к месту строительства стандартным автотранспортом. Устанавливается в течение 1–3 дней, в зависимости от ширины перекрываемого объекта. Секции понтона имеют длину 12 м и весят 4.5 т.

Работа наплавного моста даёт возможность производить грузовые и пассажирские перевозки, что способствует развитию торговли и туризма с меньшими затратами, чем строительство полноценного моста или использования паромной переправы.



*Рис. 3. Грузовая перевозка через понтонную переправу*

Использование понтонных переправ по сравнению с паромной позволяет увеличить пропускную способность, суммарный объем перевозок, среднее время преодоления переправы транспортным средством.

Таким образом, исходя из сказанного, можно сделать вывод, что для грузовых перевозок самоходной техники можно предложить альтернативу паромным переправам в виде понтонных переправ, наплавных мостов. Данная альтернатива будет уместна в случае перевозок больших объемов грузов такого типа. Вынос на всеобщее рассмотрение для транспортных организаций и муниципальных управлений внедрения понтонной схемы перевозок актуально в связи с увеличением как внутрироссийских перевозок строительной, лесозаготовительной, горнодобывающей и геолого-разведывательной спецтехники в отдаленные регионы, так и транзитных перевозок в страны постсоветского пространства, Китай, Монголию и т.д.

#### **Библиографический список**

1. Паромные транспортно-технологические системы. URL: <http://scbist.com/wiki/11385-paromnye-transportno-tehnologicheskie-sistemy.html> (дата обращения: 11.03.2019).
2. Переправа. Паромные перевозки. URL: <http://mirtransporta.ru/business/447-pereprava-paromnye-perevozki.html> (дата обращения: 11.03.2019).
3. Преимущества и недостатки понтонных мостов. URL: <http://www.perfect35.ru/uslugi/naplavnyie,-pontonnyie-mostyi.html> (дата обращения: 11.03.2019).
4. Понтонный мост. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Понтонный\\_мост](https://ru.wikipedia.org/wiki/Понтонный_мост) (дата обращения: 12.03.2019).

УДК 658.71

**К. В. Пономаренко**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ**

От грамотного управления зависит качество того продукта, который производит предприятие. Эффективная работа предприятий – важнейшее условие успешного развития экономики страны.

Для грамотного управления предприятием, необходимо понять к какой категории оно относится. В статье 4 Федерального закона «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» [1] приводится следующая классификация предприятий: крупные, средние, малые и микропредприятия. В основу данной классификации закладывают три критерия.

Первый критерий – численность работников на предприятии. На микропредприятиях работают не больше 15 человек, на малых предприятиях от 15 до 100 человек. Численность работников на средних предприятиях достигает двухсот пятидесяти.

Вторым критерием является суммарная доля участия РФ, субъектов РФ, муниципальных образований, общественных и религиозных организаций, благотворительных и иных фондов (за исключением суммарной доли участия, входящей в состав активов инвестиционных фондов) в уставном капитале, которая не должна превышать 25%. А суммарная доля участия иностранных юридических лиц и юридических лиц, не являющихся субъектами малого и среднего предпринимательства, не должна превышать 49%.

Третий критерий – размер дохода предприятия. Федеральный закон [1] устанавливает предельные значения дохода предприятия, полученного от осуществления предпринимательской деятельности за предшествующий календарный год. Для микропредприятий данная сумма не должна превышать 120 млн рублей, для малых предприятий – 800 млн рублей, для средних предприятий – 2 млрд рублей.

Анализируя классификацию предприятий можно сделать вывод, что в законодательстве отсутствует классификация крупных предприятий, так как не сформулировано единое понятие крупного предприятия, порядок его отнесения к числу крупных предприятий.

Все официально зарегистрированные предприятия включают в единый реестр. Это такая база данных где, содержится информация о всех саморегулируемых организациях, оформленных на территории Российской Федерации [2]. По данным единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства за 2018 год количество зарегистрированных юридических лиц владеющих микропредприятиями 2 441 283, малыми 224 741, средними 18 595 (рис. 1) [2].

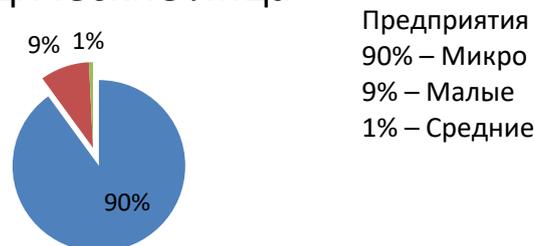
**Юридические лица**

Рис. 1. Диаграмма предприятий зарегистрированных в России

Владельцы предприятий, зарегистрированные как индивидуальные предприниматели, так же вносят информацию о компании в единый реестр. На 2018 год количество микропредприятий 3 288 368, малых 27 780и средних 324 (рис. 2)

## Индивидуальные предприниматели

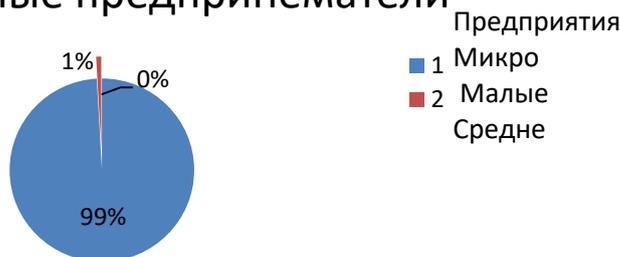


Рис. 2. Диаграмма предприятий зарегистрированных в России

В результате анализа сведений из реестра можно сделать вывод, что в России больше всего зарегистрированных микропредприятий. Владельцев микропредприятий, которые являются индивидуальными предпринимателями на 564 506 больше чем юридических лиц.

Закупки для нужд предприятия – это процесс принятия решения, посредством которого официальная организация констатирует наличие нужды в закупаемых со стороны товарах и услугах, а также выявляет, оценивает и отбирает конкретные марки товаров и конкретных поставщиков из числа имеющих на рынке [12]. В отраслях, где существует множество производителей основная доля закупок приходится на несколько крупных покупателей. На малых предприятиях принятие решений о закупках зачастую принимает владелец компании, что не всегда является объективным и выгодным решением. На более крупных предприятиях по исследованиям компании "Penton Research Services" закупками занимается 3 человека. Для владельцев компаний, не имеющих отдел закупок, выгоднее использовать электронные площадки для размещения заказов. В данном случае снижается риск заключения экономически не выгодной сделки.

Закупочная деятельность на любом предприятии играет важную роль. Правильно организованная закупочная деятельность, в конечном итоге, способствует удовлетворению потребительского спроса, а также сокращает риск убытков. Убытки, связанные с отсутствием необходимых исходных компонентов, возникают из-за не поставки готовой продукции, нарушений условий и сроков поставки штрафы, комиссии и по другим причинам [4]. Существуют различные способы и виды закупок, выбор конкретного вида закупок определяет предприятие.

Общие принципы закупок прописаны в Федеральном законе «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» [5]. В законе прописаны несколько способов закупок: конкурс или аукцион и другие. Для крупных компаний актуально участвовать в тендерах и аукционах. К другим способам можно отнести всяческие двухэтапные конкурсы, конкурентные переговоры, запросы котировок у поставщика. Аукционы проводятся на электронной торговой площадке, которая обеспечит анонимность поставщиков во время проведения торгов.

В современном обществе стала активно развиваться электронная система закупок. Электронные площадки позволяют исключать возможность договора между поставщиком и заказчиком. На сегодняшний день существует онлайн платформа [zakupki.gov.ru](http://zakupki.gov.ru), которая связывает поставщиков и заказчиков. Официальный сайт [zakupki.gov.ru](http://zakupki.gov.ru) содержит информацию о всех государственных закупках. На нем не проводятся тендеры, а лишь размещается вся необходимая информация, и ссылка на электронную площадку, где будет проходить электронные торги. Кроме того существуют шесть федеральных электронных торговых площадок, где размещены все государственные торги, тендеры: Сбербанк АСТ, Государственная тендерная площадка Росэлторг, электронная площадка торгов РТС тендер, ММВБ – Национальная электронная площадка, Электронная торговая площадка Заказ РФ, Российский аукционный дом.

Анализируя статистические данные из единой информационной системы в сфере закупок просматривается развитие электронных торгов, все больше закупок осуществляется через электронные площадки (рис. 3)



Рис. 3. Тенденция развития электронных торгов

В 2011 году с появлением электронной площадки было проведено 281 993 торгов в сфере закупок, в 2017 году количества торгов увеличилось на 1 563 749 [8].

Из 6 государственных электронных площадок одной из самых крупных считается Сбербанк-АСТ [6] данная платформа позволяет осуществлять проведение электронных торгов с целью закупки товаров и услуг для государственных, муниципальных структур и коммерческих компаний. Данным порталом зачастую пользуются крупные и средние компании. ЗАО «Сбербанк-АСТ» лидирует по объему и количеству заключенных контрактов при осуществлении государственных и муниципальных закупок через электронные площадки (аукционы), согласно данным мониторинга Министерства экономического развития [7]. Доля компании по количеству заключенных контрактов составила 47%, по объему заключенных контрактов доля «Сбербанк-АСТ» составила 38%.

Все электронные торговые площадки классифицируются на коммерческие, государственные и специализированные. Рассмотрим специализированные электронные площадки для различных отраслей предприятий и крупных компаний. Крупные предприятия разрабатывают собственные электронные площадки, где осуществляют закупку. Например, одна из крупнейших компаний СИБУР владеет специализированной площадкой, предназначенной для обеспечения эффективного взаимодействия холдинга СИБУР с партнерами, клиентами и поставщиками СИБУР – крупнейшая нефтехимическая компания России и Восточной Европы с полным охватом отраслевого цикла от газопереработки для производства мономеров, пластиков, синтетических каучуков и переработки пластмасс [9].

В России большая часть малых предприятий, и для них существует электронная площадка Supl.biz. Она позволяет экономить на закупках до 40% [11]. Платформа ориентирована на малый и средний бизнес. Участвовать в торгах здесь проще, чем на площадках, где размещаются гос. закупки и заказы других крупных компаний: чтобы разместить заказ, достаточно указать имя и адрес электронной почты. Заявки заказчиков попадают к подходящим поставщикам не сразу, а после проверки менеджером.

Центр электронных торгов дает возможность разделять все закупки по отраслям. Лидирующей отраслью на данном электронном портале является транспортные средства, спецтехника, детали и запчасти к ним. Различные организации оставляют запрос на выполнение, каких либо услуг, покупки запчастей, ремонт автотранспорта [14].

Наибольший интерес с точки закупочной логистики представляют специализированные площадки по экономической деятельности.

Так в сфере строительства существует электронная торговая площадка «Стройторги» это первый в России сервис, имеющий специализацию на организации торгов исключительно в строительной отрасли. Любая официальная строительная фирма может подать заявку на осуществления строительных работ. Площадка объединяет продавцов и покупателей строительных материалов, машин и меха-

низмов, транспортных услуг, строительного-монтажных и проектно-исследовательских работ, сопутствующих товаров [13].

Электронные торговые площадки, на которых электронные торги проводят не государственные компании, называют коммерческими электронными площадками. Таких площадок значительно больше, чем государственных и регламент проведения электронных аукционов более гибкий. Например, такой площадкой является крупнейшая бизнес платформа мира Sap Ariba по поиску поставщиков, клиентов и партнеров, которые предоставляется по подписке. В России Ariba присутствует, начиная с середины 2014 года. Эта платформа предназначена практически для всех компаний, включая сектор малого бизнеса. Решение Ariba позволяет управлять как стратегическими, так и операционными закупками, а именно с ее помощью можно легко найти поставщиков, выбрать наиболее привлекательного и оформить сделку за несколько кликов. Основной причиной использования облачных решений для большинства предприятий является нехватка свободных средств и риски невозврата инвестиций [15].

### Вывод

Анализируя торговые электронные площадки можно прийти к выводу, что на рынке в России существует достаточно большое количество тендерных площадок под любые цели и задачи. Но, как правило, большинство электронных площадок предназначены для крупных предприятий. Хотя по данным государственной статистики количество малых предприятий составляет 90% от общего числа предприятий. Появление большего числа торговых площадок для малых предприятий даст возможность малым компаниям заявить о себе в едином электронном пространстве, лучше взаимодействовать друг с другом. С помощью площадок можно провести анализ наиболее востребованных предложений и определить основные тенденции развития отдельных сегментов рынка.

### Библиографический список

1. Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ (ред. от 27.11.2017) «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации».
2. Федеральная налоговая служба. URL: <https://www.nalog.ru/m78> (дата обращения 09.01.2018).
3. Задера О. А., Гугнина Е. В. Субъекты малого бизнеса: учет, налогообложение, отчетность. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 88 с.
4. Экономика, организация и управление на предприятии / под ред. М. Я. Боровской. Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. 480 с.
5. Федеральный закон «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» от 18.07.2011 № 223-ФЗ (последняя редакция).
6. Сбербанк-АСТ. Электронная торговая площадка. URL: <https://www.sberbank-ast.ru> (дата обращения: 15.02.2019).
7. Доклад о результатах мониторинга применения Федерального закона от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» за I-III кварталы 2016 года.
8. Главный портал закупок. URL: <http://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 19.01.2019).
9. Электронная торговая площадка СИБУР. URL: <https://b2b.sibur.ru> (дата обращения: 21.01.2019).
10. Федеральная служба государственной статистики. Электронная торговая площадка. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/reform/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/reform/) (дата обращения: 01.02.2019).
11. Электронная торговая площадка. URL: <https://supl.biz/> (дата обращения: 01.02.2019).
12. Елисеева Т. П., Молев М. Д., Трегулова Н. Г. Экономика и анализ деятельности предприятий. Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. 325 с.
13. Электронная торговая площадка Стройторги. URL: <https://stroytorgi.ru/> (дата обращения: 05.02.2019).
14. Центр электронных торгов. URL: <https://www.b2b-center.ru/> (дата обращения: 05.02.2019).
15. Электронная торговая площадка Sap Ariba. URL: <http://sap-ariba.ru/> (дата обращения: 05.02.2019).

УДК 656.025.2

**М. А. Смирнова**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В МЕГАПОЛИСЕ

Потребность в мобильности у жителей современных мегаполисов постоянно растет, отражая их желание участвовать в различных видах деятельности для удовлетворения их физиологических, психологических и экономических нужд [1]. Осуществление деятельности в разных местах мегаполиса формирует сложные маршруты передвижения и модели использования жителями нескольких средств транспорта [2]. Для удовлетворения этой потребности в мобильности с максимальным комфортом жители мегаполиса часто предпочитают личные средства передвижения. Популярность личного автотранспорта в крупных городах, доступность и разнообразие современных автомобилей повышают индивидуальные возможности передвижения до того момента, пока совокупное число автомобилей перестает соответствовать пропускной способности дорожно-транспортной сети города.

Расширение и модернизация дорожной сети города, введение экологических нормативов лишь частично и временно облегчают ситуацию. Успешные программы сокращения использования личного автотранспорта в крупных городах связаны с внедрением мер, направленных на изменение поведения автовладельцев в пользу использования более экологичных видов общественного транспорта. Исследования последних лет анализируют так называемые «мягкие» программы, направленные на развитие и популяризацию городского транспорта общего пользования [4].

При перевозке одного пассажира транспортом общего пользования потребуется в 5–10 раз меньше территории, энергетических ресурсов, будет выброшено в атмосферу в 5–25 раз меньше загрязняющих веществ, чем при перевозке индивидуальным автотранспортом [2].

Транспорт общего пользования служит не только экономическим целям, но выполняет социальную функцию обеспечения доступности и социальной справедливости для людей со средним и низким уровнем доходов.

Значимость общественного транспорта также заключается в том, что он обеспечивает целостность мегаполиса как географического образования, жизнедеятельность города как цельной системы, при одновременной минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду по сравнению с транспортом личным [3].

Для того чтобы транспортная система обеспечивала высокий уровень обслуживания, нужно выяснить, какие требования пассажир предъявляет к системе перевозок и с помощью каких параметров оценивает степень их удовлетворения. Для этого нужно постоянно отслеживать изменения в требованиях, используя такие методы, как анкетирование, фокусирование на отдельных группах и т.д. Кроме непрерывного изучения спроса пассажиров на транспортные услуги необходим и мониторинг изменяющихся рыночных факторов.

Требования пассажиров по качеству можно определить по нескольким параметрам.

Рассмотрим суть некоторых параметров, представленных на рис. 1.

*Тариф.* Фактор тарифа, или затрат на транспортное обслуживание, является значимым для большинства пассажиров. Уменьшение величины затрат на проезд за счет рационального выбора варианта может дать пассажирам существенную экономию.

*Надежность.* В современных условиях особое значение приобретает категория надежности перевозок.

Основная проблема заключается в поиске показателей, с помощью которых можно было бы оценить уровень надежности. Исследования показывают, что наиболее важными параметрами, учитываемыми при оценке надежности пассажироперевозок, являются своевременность, уровень риска, совместимость подсистем, имидж участников системы и др. Рассмотрим наиболее значимые из них.

*Своевременность.* Высокий уровень своевременности перевозок позволяет избежать дополнительных затрат на выполнение таких операций, как:

- обеспечение повышенного уровня безопасности в связи с колоссальным количеством пассажиров в часы пик;
- содержание и ввод новых средств и оборудования, обеспечивающих вход выход пассажиров;
- использование пассажирами более дорогих видов транспорта с целью предотвращения остановки производственного процесса (в частности: опоздания на работу) и др.



Рис. 1. Параметры, определяющие качество пассажирских перевозок

Кроме того, своевременность перевозок предоставляет компании перевозчику существенные конкурентные преимущества на рынке транспортных услуг.

**Совместимость.** Качество системы пассажирских перевозок зависит не только от уровня качества функционирования каждого ее участника, но и от степени взаимодействия, то есть синхронизации их действий при предоставлении обслуживания. Под взаимодействием участников транспортной системы следует понимать наличие определенного рода связей, проявляющихся при реализации функций системы. Оно имеет следующие основные формы:

- технологическое взаимодействие всех видов городского транспорта, основанное на технологическом единстве функционирования участников системы. Решение данной задачи находится в тесной связи с разработкой совместной технологии и организацией доставки по согласованным графикам;
- экономическое взаимодействие подразумевает координацию работы участников транспортной системы города. Основными методами координации являются организационно управленческие, экономические и правовые.

Для обеспечения высокого уровня синхронизации совместной деятельности участников системы необходимы все вышеперечисленные формы совместимости, а также надлежащая система по обмену информацией и тесные контакты участников.

**Имидж.** Имидж, или репутация субъектов, участвующих в процессе перевозок, является одним из параметров уровня надежности транспортной системы. Чем выше репутация участников системы доставки, тем выше уровень надежности. К имиджу транспортного предприятия относятся такие показатели, как:

- стабильное выполнение своих обязательств;
- отсутствие негативных сообщений о ней в средствах массовой информации;
- финансовая устойчивость;
- доброжелательность и честность работников фирмы и т.п.

Негативная оценка хотя бы по одному показателю может вычеркнуть соответствующий вариант из рассмотрения.

*Риск.* Безопасность работы общественного транспорта можно выразить через вероятность безотказной работы – свойство транспортных средств выполнять все свои рабочие функции (сохранять работоспособность) в заданных пределах в течение определенного периода времени.

*Гибкость.* Под гибкостью понимается готовность предприятия выполнять вносимые клиентом предложения по работе и обслуживанию. Этот параметр отражает способность системы доставки к быстрой и адекватной адаптации в соответствии с меняющимися условиями перевозок. Гибкость включает в себя следующие показатели:

- готовность к изменению условий перевозок;
- возможность предоставления раз личных уровней обслуживания;
- готовность к изменению условий платежа, например предоставление пассажирам кредита, скидок и т.п.

*Комплексность.* Исследование и анализ проблем качества обслуживания пассажиров показывает: чем шире ассортимент предлагаемых услуг, тем выше уровень качества обслуживания.

*Информативность.* Информативность определяется способностью системы транспортного обслуживания предоставлять пассажирам в любой момент времени информацию о тарифах, условиях доставки и о месте нахождения в процессе поездки.

Информативность системы достаточно трудно объективно измерить. Она может быть оценена через достоверность предоставляемой информации.

*Доступность.* На показатель доступности системы пассажироперевозок влияют два факта: удобство обслуживания и готовность к доставке.

*Удобство для пассажира* – это оформление проездных билетов, продление срока их действия и т.д. Большие затраты времени пассажира на перечисленные операции свидетельствуют о низком уровне качества системы и могут привести к переходу пассажиров на иные виды транспорта, в т.ч. на частный.

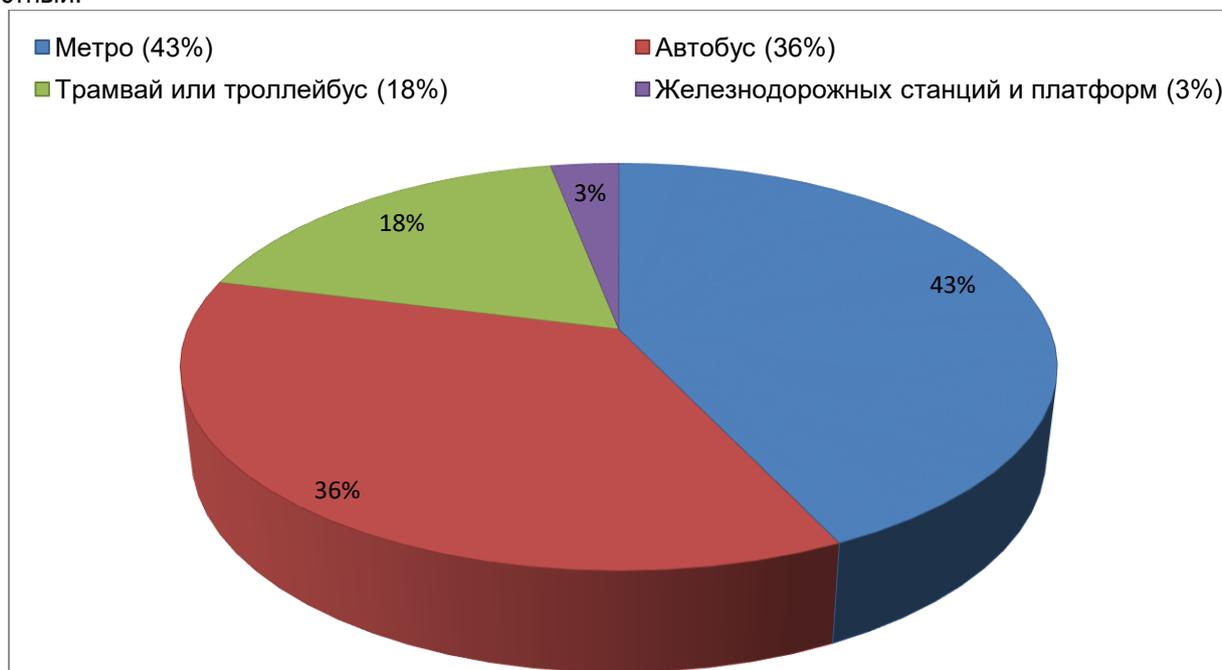


Рис. 2. Диаграмма востребованности общественного транспорта в Санкт-Петербурге

Существующая сегодня тарифная политика на общественном городском транспорте практически означает предоставление услуг населению по убыточным ценам. Покрытие убытка по предприятиям наземного транспорта осуществляется из городских бюджетов, а в метрополитенах в основном за счет доходов от прочей деятельности (аренда помещений, реклама) [3].

Общественный транспорт в Санкт-Петербурге представлен несколькими видами транспорта (рис. 2):

- метрополитен (43% перевозок общественным транспортом);
- 366 «социальных» автобусных маршрутов и 317 «коммерческих» автобусных маршрутов (36% перевозок общественным транспортом);
- 40 трамвайных маршрутов 44 троллейбусных маршрута (18% перевозок общественным транспортом);
- 100 железнодорожных станций и платформ в пределах города (3% перевозок общественным транспортом).

Несмотря на то, что общественный транспорт играет значительную роль в обеспечении мобильности населения, при росте населения (согласно прогнозам, 2020 году общая численность населения Санкт-Петербурга составит порядка 5,16 млн чел., в том числе постоянное население – 4,66 млн чел.), необходимо повышение интенсивности его использования по сравнению с динамикой интенсивности использования личного автотранспорта.

Отказ от личного автомобиля в пользу услуг общественного транспорта возможен только в том случае, если качество услуг общественного транспорта будет выше. Качество услуг общественного транспорта определяется двумя характеристиками: удобством маршрутной сети и личным (субъективным) восприятием качества предоставляемых услуг [5].

Оптимизация маршрутной сети городского общественного транспорта возможна при разделении всех существующих маршрутов (или участков маршрутов) на две категории в зависимости от цели организации маршрута:

- маршруты, обеспечивающие пассажиропоток;
- маршруты, обеспечивающие транспортную доступность территорий.

В первом случае речь идет о маршрутах большой наполняемости. Во втором случае маршруты обеспечивают равный географический доступ населения определенной территории к услугам общественного транспорта. Степень доступности определяется процентом жителей (или рабочих мест) в переделах 400 метров от места пролегания ближайшего маршрута, т.е. организацией жилищной среды города.

Вполне очевидно, что начальный этап оптимизации работы городского общественного транспорта будет осуществляться на основе построения модели транспортного обслуживания населения, целевой функцией или основным критерием которой будет выступать степень уменьшения затратоемкости, выраженной как в стоимостном, так и временном выражении (рис. 3).

Основные параметры модели объединены в четыре группы.

Группа I включает параметры, позволяющие с определенной степенью достоверности реализовать логистическую концепцию «точно в срок». При этом имитационное моделирование хотя и затратоемкий, но значительно более точный метод определения времени движения транспортного средства на маршруте с учетом случайных задержек в пути.

Основу параметров группы II составляет теория резервирования, позволяющая повысить надежность функционирования системы. Отличие первого параметра от второго заключается в количестве обслуживаемых маршрутов от одного до  $n$  (в ряде случаев  $n$  может быть тождественно всем маршрутам, обслуживаемым пассажирским автотранспортным предприятием).

Контроль за временем выполнения подвижным составом расписания движения (группа III) может выполняться как на всем участке маршрута (первый параметр), так и только на конечном (-ых) пунктах маршрута (четвертый параметр).

Для принятия оперативных решений при управлении пассажиропотоками следует отслеживать изменение в дорожной ситуации (группа IV). Своевременное информирование пассажиров о возникающих сбоях позволяет перенастроить поток на другие способы или маршруты передвижения. Собранный

ные статистические данные вносят корректировку в разрабатываемое расписание движения подвижного состава.

При этом группы III и IV предполагают, что менее затратно емкие параметры включаются в более затратно емкие.

Затратоёмкость				
№ группы	Модель транспортного обслуживания населения			
I	1. Имитационное моделирование		2. Оценка времени прохождения маршрута	
II	1. Резервирование подвижного состава за конкретным маршрутом		2. Резервирование подвижного состава за группой маршрутов	
III	1. Мониторинг движения транспортных средств в режиме реального времени	2. Контроль за выполнением расписания движения на промежуточных пунктах маршрута	3. Выборочный контроль соблюдения расписания на маршруте	4. Контроль времени прибытия транспортных средств на конечные пункты маршрута
IV	1. Установка оборудования оперативного информирования пассажиров о дорожной ситуации	2. Обеспечение оперативной информацией диспетчерские пункты	3. Отчеты об изменении дорожной ситуации в течение суток, составляемые по результатам работы	

Рис. 3. Параметры модели транспортного обслуживания населения

Реализация модели позволит разработать практические рекомендации по оптимизации маршрутной сети и совершенствованию городских пассажирских перевозок в целом.

На практике обсуждение транспортной проблемы на высших уровнях власти, как правило, сводится к попыткам решить частные проблемы отдельных транспортных узлов, что соответствует только IV уровню планирования транспортных систем. Более высокий уровень планирования – III (согласно классификации В. Вучика) рассматривается в нормативных документах, принятых Правительством города. Так, в частности, согласно Положению о территориальном планировании Санкт-Петербурга, обеспечение приоритета в развитии и работе массового общественного транспорта перед индивидуальным транспортом должно быть обеспечено за счет реализации следующих мер:

- 1) развитие маршрутной сети общественного транспорта;
- 2) создание паркингов для легкового автотранспорта у станций метрополитена и на границах с центральными районами Санкт-Петербурга;
- 3) организация движения автотранспорта на улицах Санкт-Петербурга с обеспечением приоритета движению общественного транспорта;
- 4) строительство скоростных дорог и магистралей непрерывного движения с организацией маршрутов общественного транспорта [6].

Однако все эти меры не соответствуют нормам системного подхода к развитию транспортной инфраструктуры города. Попытка разработки системного подхода представлена в проекте Стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года, согласно которому город предлагается разделить на территориально-экономические зоны, с формированием транспортных связей между ними. «Узлы развития» города выделены, очевидно, на основании анализа уже имеющейся инфраструктуры. Однако обоснование целесообразности строительства новых объектов инфраструктуры должно проводиться, в том числе на основании изучения особенностей миграции населения внутри города и стимулов, определяющих выбор между общественным и личным транспортом.

В связи с этим предполагается провести дальнейшее исследование на основе моделирования транспортного обслуживания населения для выявления соответствия определенным в Стратегии «узлов развития города» существующим миграционным потокам между центрами активности населения и стимулами к выбору вида транспорта для перемещения между выявленными центрами активности.

**Библиографический список**

1. Turnquist M., Blume S., Evaluating Potential Effectiveness of Headway Control Strategies for TRansit Systems. Transportation Research Record, 1980.
2. Завьялова Н. Б. и др. Управление качеством транспортного обслуживания в мегаполисе / Н. Б. Завьялова, Р. Р. Сидорчук, И. В. Лопатинская, Д. В. Завьялов и др. // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2016. № 1. С. 36–50.
3. Логистический подход к организации перевозки пассажиров в мегаполисе. URL: <http://www.rostransport.com/transportrf/pdf/7/38-40.pdf> (дата обращения: 28.03.2019).
4. Маркетинговые аспекты обеспечения мобильности граждан в мегаполисе. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/marketingovye-aspekty-obespecheniya-mobilnosti-grazhdan-v-megapolise> (дата обращения: 27.03.2019).
5. Официальный сайт администрации Санкт-Петербурга. URL: <https://www.gov.spb.ru> (дата обращения: 27.03.2019).
6. Стратегия экономического и социального развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года. URL: <http://spbstrategy2030.ru> (дата обращения: 30.03.2019).

## УДК 656.2

**Е. Ю. Яськова**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХЭТАЖНЫХ ВАГОНОВ НА РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Первая в мире железная дорога была построена в 1825 году в Англии. Она соединяла Стоктон и Дарлингтон. Ее протяженность составляла 25 км [1]. Этим было положено начало строительству железных дорог по всему миру. Человечество вышло на новый виток развития. Чем большее распространение в Европе и мире получали железные дороги, тем более комфортным должно было становиться передвижение пассажиров.

В России первая железная дорога появилась в 1837г и связывала она Санкт-Петербург с Царским селом. Протяженность – 27 км. К 1860 году протяженность сети железных дорог на территории Российской империи составляла 1590 км, в то время как в Германии протяженность железных дорог на 1860 год составляла 11 594 км, а в США – 48 280 км. Примечателен тот факт, что изначально само распространение железных дорог происходило с запада на восток, и по сей день распространение новых технологий в этой области так же происходит в этом направлении, хотя и не без исключений.

Транспортная отрасль непрерывно развивалась. Выявлялись проблемные вопросы: с одной стороны, необходимо постоянно увеличивать количество пассажиров перевозимых на направлении, с другой стороны, – невозможно бесконечно увеличивать инфраструктуру для всё возрастающего в этой связи количества единиц подвижного состава. Поэтому в конце XX века в Лондоне появились дабл-басы, ставшие визитной карточкой города. Дабл-басы – двухэтажные туристические автобусы, которые при той же базе могли перевозить существенно большее количество пассажиров, чем традиционные транспортные средства. Тенденция возведения второго этажа появилась и на железнодорожной дороге. В начале десятых годов XXI века двухэтажные вагоны, как часть парка подвижного состава, стали появляться в Германии. Это совершенно новое явление в области пассажирских перевозок быстро оправдало себя за счет многих факторов и стало распространяться по всей Европе. В России данный подвижной состав был впервые использован при осуществлении перевозок пассажиров на олимпиаде в Сочи в 2014 году. С тех пор идея внедрения данного вида подвижного состава на постоянной основе в транспортную инфраструктуру нашей страны не покидает инвесторов. Это объясняется рядом причин, во-первых, тем, что АО «ФПК» (Федеральная Пассажирская Компания) вынуждена выплачивать ОАО «РЖД» за использование путей общего пользования пассажирскими вагонами, во-вторых, необходимостью удовлетворять всё возрастающие потребности населения в данном виде перевозок, в третьих, – необходимостью снижения издержек на содержание подвижного состава.

Технические характеристики двухэтажного купейного вагона со спальными местами модели 61-4465, изготавливаемого на тверском вагоностроительном заводе, и классического вагона с четырехместными / двухместными купе модели 61-4462, изготавливаемого на том же заводе, и их сравнение представлено в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

**Технические характеристики вагон пассажирского двухэтажного купейного со спальными местами модели 61-4465**

Масса тары вагона, т	не более 64,8
Длина вагона по осям сцепления автосцепок, мм	26232±20
Ширина кузова наружная без гофр, мм	3154 (+3; -7)
Количество спальных мест для пассажиров	• вагон с двухместными пассажирскими купе –

(по желанию заказчика)	30; • вагон с четырехместными пассажирскими купе – 64
Количество спальных мест для проводника	1
Количество мест для сидения проводника	1
Конструкционная скорость, км/ч	160
База вагона, мм	19000
Тележки, модель	684 095
Плавность	не более 3,0 при качественной оценке состояния пути «отлично»; не более 3,2 при качественной оценке состояния пути «хорошо»
База тележки, мм	2500
Тип наружных дверей: • боковые • торцевые	прислонно-сдвижного типа; сдвижного типа.
Привод боковых и торцевых дверей	электромеханический;
Номинальная мощность комплекса электрооборудования, кВт	не более 79 кВт, в том числе 40 кВт от высоковольтного статического преобразователя
Объем воды в системе водоснабжения не менее, л	1550
Установка кондиционирования воздуха	Имеется
Система экологически чистых туалетов	Имеется
Тормоз: • по способу управления • по способу реализации тормозной силы	• электропневматический; • пневматический; • ручной. • дисковый (для тележек моделей 68 4095 и 68 4096).
Сцепное устройство типа	БСУ-3
Система отопления	электровоздушного типа
Наличие аппарата охлаждения питьевой воды (куллера)	имеется
Наличие СКДУ	имеется
Наличие информационных табло вагона	имеется
Системы видео-, аудиотрансляции	имеется

Установка пожарной сигнализации	имеется
Дополнительные системы (по желанию заказчика)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• система контроля безопасности и связи поезда;</li> <li>• электронные табло номера вагона и маршрутная панель.</li> </ul>

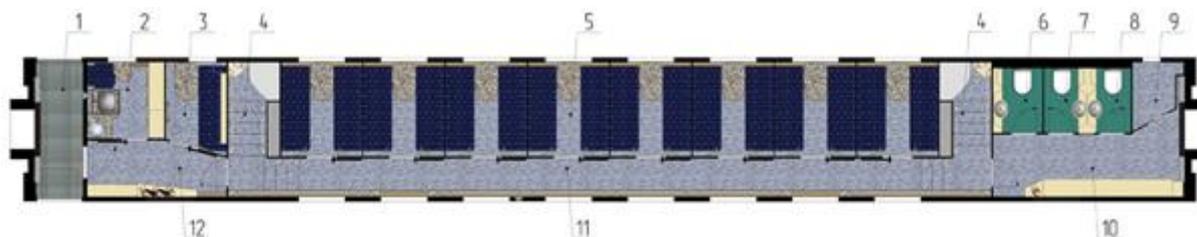


Рис. 1. Планировка первого этажа двухэтажного вагона модели 61-4465

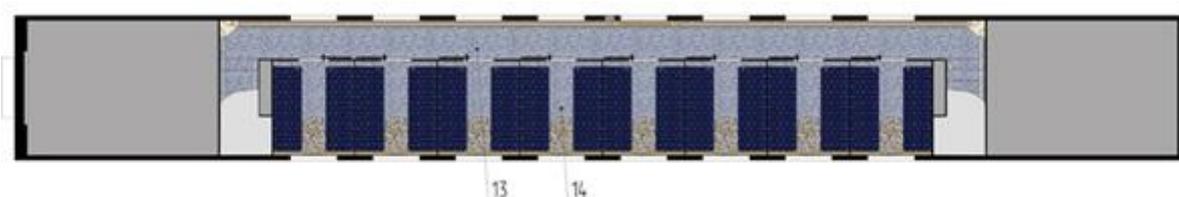


Рис. 2. Планировка второго этажа двухэтажного вагона модели 61-4465

Условные обозначения:

- 1 – тамбур;
- 2 – служебное отделение;
- 3 – купе проводников;
- 4 – лестница;
- 5 – пассажирское купе первого этажа;
- 6 – туалет I;
- 7 – туалет II;
- 8 – туалет III;
- 9 – техническое отделение;
- 10 – коридор нетормозного конца вагона;
- 11 – большой коридор I этажа;
- 12 – коридор тормозного конца вагона;
- 13 – большой коридор второго этажа;
- 14 – пассажирское купе второго этажа [3].

Таблица 2

**Технические характеристики вагона с четырехместными/двухместными купе модели 61-4462**

Масса тары вагона, т	55,8 т
База вагона	17000 мм
База тележки	2400 мм или 2500 мм
Ширина колеи	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238	для кузова – I-ВМ для тележек безлюлечной конструкции – I ВМ

Габарит по ГОСТ 10527	для тележек двухосных – 02 ВМ
Конструкционная скорость	160 км/ч
Количество спальных мест для пассажиров	36 \ 18
Показатель плавности хода	для тележек безлюлечной конструкции – плавность хода, не более 2,8 для тележек двухосных – плавность хода не более 3,0
Средний коэффициент теплопередачи ограждений кузова	не более 0,95 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)

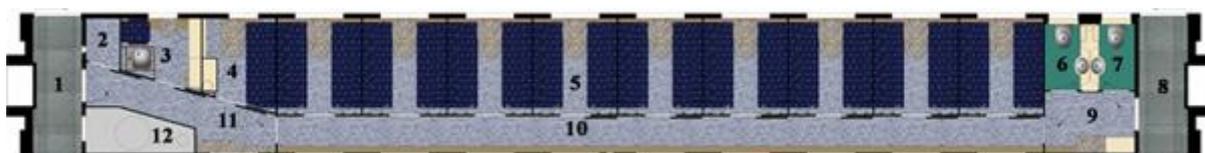


Рис. 3. Планировка вагона модели 61-4462

Условные обозначения:

- 1 – тамбур тормозного конца вагона;
- 2 – кладовая;
- 3 – служебное отделение;
- 4 – купе проводников;
- 5 – пассажирское помещение;
- 6 – туалет I;
- 7 – туалет II;
- 8 – тамбур нетормозного конца вагона;
- 9 – коридор нетормозного конца вагона;
- 10 – большой коридор;
- 11 – коридор тормозного конца вагона;
- 12 – котельное отделение [4].

Таблица 3

**Сравнение характеристик двухэтажного и одноэтажного вагонов**

	Двухэтажный	Одноэтажный
Количество мест в вагоне купе	64	36
Количество мест в вагоне СВ	30	18
Количество мест в штабном вагоне	50	26
Вагон ресторан	2 этажа	есть
Скорость, км/ч	160	160
Масса тары вагона, т	~64,8	55,8

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что масса двухэтажного вагона по сравнению с обыкновенным увеличилась лишь на 16,12%, в то время как почти вдвое увеличилось количество мест в вагонах всех типов.

Двухэтажный подвижной состав позволяет перевозить за один рейс почти в 2 раза больше пассажиров, чем обычный. А повышению их привлекательности способствуют гибкие тарифы и акции. Например, если сравнивать стоимость билетов на проезд в купейном вагоне двухэтажного и обычного поездов по направлению Москва – Воронеж (примерно с одинаковым временем следования), можно

увидеть, что средняя стоимость проезда в двухэтажном поезде составляет примерно 2 359,85 руб., что на 27,75% ниже, чем в обычном поезде, где стоимость проезда составляет 3 266,35 руб. [2].

В парке АО «Федеральной Пассажирской Компании» (дочернее общество ОАО «РЖД») в настоящее время – 362 двухэтажных вагона различных типов (СВ, купейные, купейные штабные с купе для пассажиров с ограниченными возможностями здоровья, с местами для сидения, а также вагоны-рестораны).

Для удобства и безопасности пассажиров вагоны оснащены современными системами поддержания микроклимата, экологически чистыми туалетными комплексами, системами контроля безопасности и мультимедийными системами. В вагонах типа СВ каждое место оборудовано ЖК-дисплеем. Доступ в купе осуществляется на основе индивидуальных магнитных ключ-карт.

Каждый двухэтажный поезд адаптирован для людей с ограниченными физическими возможностями. Так, в составе каждого поезда есть вагон со специальным купе увеличенной площади, подъемное устройство для инвалидной коляски, и другие необходимые для комфортной поездки приспособления, вся необходимая информация продублирована азбукой Брайля.

В настоящее время на всей сети российских железных дорог курсирует 12 пар двухэтажных поездов по 9 маршрутам:

- Москва – Санкт-Петербург;
- Москва – Адлер;
- Москва – Казань;
- Москва – Воронеж;
- Москва – Самара;
- Москва – Kisловодск;
- Москва – Ижевск;
- Санкт-Петербург – Адлер;
- Ростов-на-Дону – Адлер.

Перевозки пассажиров двухэтажными поездами в январе-марте выросли на 11,5%. С начала 2019 года двухэтажными поездами АО «ФПК» воспользовались свыше 1,2 млн пассажиров, что на 11,5% больше, чем за аналогичный период прошлого года [5]. В том числе в марте 2019 года двухэтажными поездами путешествовали 455,7 тыс. человек (+ 11,6% к марту 2018 года). Доля перевозок пассажиров двухэтажными поездами от общего объема перевозок АО «ФПК» в дальнем следовании составила 6%. Наиболее популярными направлениями в I квартале 2019 года стали Москва – Воронеж (27,3% от общего объема), Москва – Санкт-Петербург (23,4%), Москва – Адлер (9,5%) и Москва – Самара (8,9%).

Приведенный анализ позволяет сделать следующий вывод: двухэтажные поезда имеют ряд преимуществ по отношению к обычным поездам, внедрение двухэтажных вагонов является эффективным вложением, что будет происходить расширение сети движения такого подвижного состава. К существующим девяти направлениям движения двухэтажных поездов необходимо добавлять новые. В диссертационной работе будет оценена перспектива более широкого внедрения данного подвижного состава на большем количестве направлений, конкретно, на направлении Москва – Владивосток.



### Библиографический список

1. Первая железная дорога в мире (Англия), строительство, история ее создания и дальнейшее развитие. URL: <http://webmandry.com/pervaya-zheleznaya-doroga-v-mire-angliya-stroitelstvo-istoriya-ee-sozdaniya-i-dalnejshhee-razvitiye/> (дата обращения: 21.02.2019).
2. Продажа билетов. URL: <https://www.ufs-online.ru> (дата обращения: 21.02.2019).
3. Модель 61-4465. URL: [http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=190](http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item_detail.php?ELEMENT_ID=190) (дата обращения: 21.02.2019).
4. Модель 61-4462. URL: [http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=185](http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item_detail.php?ELEMENT_ID=185) (дата обращения: 21.02.2019).
5. Федеральная пассажирская компания. URL: <https://fpc.ru> (дата обращения: 21.02.2019).
6. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3FSTRUCTURE\\_ID%3D704%26layer\\_id%3D5104%26id%3D6396](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3FSTRUCTURE_ID%3D704%26layer_id%3D5104%26id%3D6396) (дата обращения: 21.02.2019).

## Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами

УДК 629.735.33

**С. А. Булавин, Д. А. Никитин**

студенты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**П. Н. Неделин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОПЛИВА

Расход топлива является одной из ключевых характеристик летательного аппарата. В гражданской авиации этот показатель определяет максимальную коммерческую нагрузку, максимальную дальность полета, стоимость эксплуатации воздушного судна, то есть отражает его рентабельность и напрямую влияет на стоимость авиабилета для пассажиров. Для военной авиации эта характеристика самолета не менее важна. Она определяет практическую дальность, боевой радиус самолета или вертолета, а значит, является важнейшим показателем его боевой эффективности.

Рассмотрим принцип действия ультразвукового расходомера, в устройствах данного типа используется свойство звуковых волн изменять скорость своего распространения в подвижной среде. Если установить источник (А) и приёмник (В) ультразвука со смещением (рис. 1), то о скорости потока можно судить по изменению скорости распространения звуковой волны вдоль отрезка АВ.

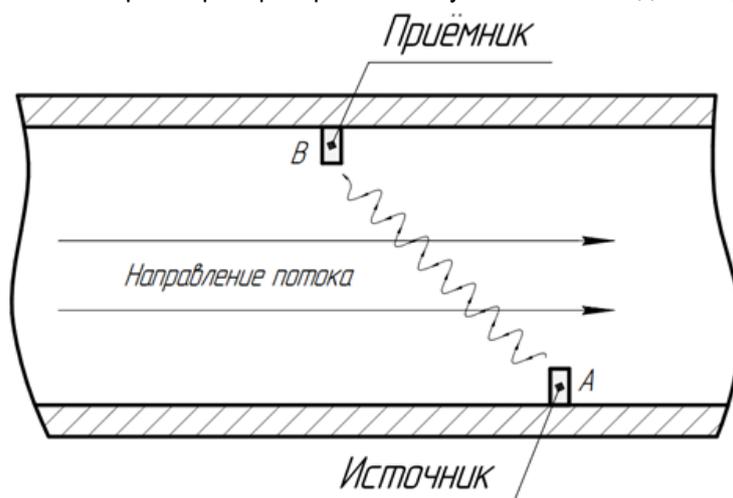


Рис. 1. Общая схема расположения ключевых элементов ультразвукового расходомера

Ультразвуковые расходомеры обычно служат для измерения объемного расхода, потому что эффекты, возникающие при прохождении акустических колебаний через поток жидкости или газа, связаны со скоростью последнего. Но путем добавления акустического преобразователя, реагирующего на плотность измеряемого вещества, можно осуществить и измерение массового расхода. Приведенная погрешность ультразвуковых расходомеров лежит в широких пределах от 0,1 до 2,5%, но в среднем может быть оценена цифрами 0,5–1%. Значительно чаще ультразвуковые расходомеры применяют для измерения расхода жидкости, а не газа, вследствие малого акустического сопротивления последнего и трудности получения в нем интенсивных звуковых колебаний. Ультразвуковые расходомеры пригодны для труб любого диаметра, начиная от 10 мм и более [1].

Кроме того, для измерения локальной скорости потока может быть использован эффект Доплера, для этого источник и приёмник располагаются вдоль направления потока, как указано на рис. 2 [2]. Исходный сигнал, а также сигнал с приёмника отправляются на смеситель. Частота ультразвука, которую фиксирует приёмник, изменяется в зависимости от скорости потока, исходная частота остаётся неизменной. Частота сигнала на выходе из смесителя является разностью частот исходного и принятого сигнала – по этой величине можно однозначно судить о локальной скорости вещества в потоке. Од-

нако такое решение предъявляет высокие требования к точности датчиков, высокой разрядности счета смесителя и высокое быстродействие схмотехники [3].

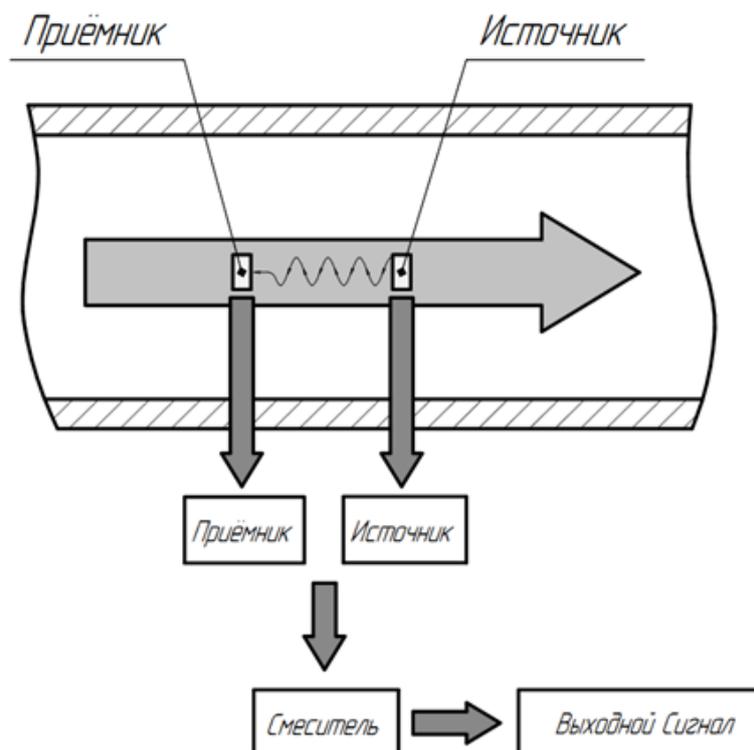


Рис. 2. Общая схема расположения ключевых элементов расходомера на эффекте Доплера

Достоинством этого типа датчиков является широкий диапазон измерений, отсутствие подвижных механических частей, склонных к износу, высокая точность, а так же возможность использования датчика для измерения расхода агрессивных жидкостей. В качестве УЗ излучателей и приемников выбраны пьезокерамические элементы системы ЦТС (цирконат-титанат свинца). Пьезокерамические элементы на основе цирконат-титаната свинца получили наиболее широкое применение и являются оптимальным решением для преобразования электрических сигналов в ультразвуковые.

#### Библиографический список

1. Инженерные решения. Ультразвук. Основы теории распространения ультразвуковых волн. URL: <http://engineering-solutions.ru/ultrasound/theory/> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Энциклопедия физики и техники. Лэмба волны. URL: Режим доступа: [http://femto.com.ua/articles/part\\_1/2005.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/2005.html) (дата обращения: 01.03.2019).

УДК 629.7.05

**Д.А. Капитонов, А. О. Шамаев**

студенты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**А.А. Макаров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ДАТЧИКОВ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Повышение интенсивности воздушного движения на ближайших маршрутах делает насущно необходимым повышение точности навигационных систем. При этом уменьшение числа команд, которые должен дать диспетчер для ликвидации отклонений ВС от заданной трассы, позволяет ему больше времени уделять анализу воздушной обстановки и оптимизации процессов управления воздушным движением (УВД) и принятия решений, что будет способствовать повышению надежности УВД и, соответственно, повышению безопасности полетов ВС.

Актуальность проблемы повышения точности навигационного обеспечения определяется быстрым ростом авиаперевозок. Согласно документам ИКАО глобальный объем полётов удваивается каждые 15 лет, начиная с 1977 года, и будет увеличиваться такими же темпами.

Проблему усложняет тот факт, что ИКАО рекомендует для континентальных трасс перейти от спецификации RNAV 5 к более жестким 6 требованиям спецификации RNP 2. Из этого следует необходимость разработки методик увеличения точности определения местоположения ВС.

**Радиотехнические системы ближней навигации.** К радиотехническим системам ближней навигации и посадки относятся системы, обеспечивающие определение местоположения воздушного судна (ВС) на расстоянии до 500 км относительно радиомаяка, а также положение ВС относительно взлётно-посадочной полосы (ВПП) при заходе на посадку [1].

Типы систем ближней навигации различаются по нескольким параметрам: по виду информативного параметра сигнала, используемого для определения азимута, по формату сигнала, служащего для определения дальности, а также по структуре системы в целом. Наибольшее распространение получили отечественная система РСБН и стандартизированная ICAO зарубежная система VOR/DME [2].

Такие навигационные параметры системы ближней навигации, как азимут ( $\theta$ ) и дальность ( $R$ ) определяются на воздушном судне относительно радионавигационной точки, в которой размещен радиомаяк с известными координатами. Канал дальности работает следующим образом: запросчик, установленный на ВС, отправляет сигнал запроса, который принимает радиомаяк с помощью антенны, обрабатывает его и излучает обратно на другой частоте. После приёма ответного сигнала, бортовое оборудование ВС вычисляет дальность до радиомаяка, определив время движения сигнала туда и обратно. А канал азимута строят на основе фазового метода. Азимутальный радиомаяк формирует азимутальный сигнал, фаза которого зависит от азимута точки приема. Момент начала отсчета азимута в бортовой аппаратуре определяется по опорному сигналу, который передается с радиомаяка. Информация об азимуте заключена в сдвиге принятого сигнала относительно опорного по фазе. В системе VOR в зависимости от структуры излучаемого радиомаяком сигнал различают стандартный (VOR) и доплеровский (DVOR) режимы [3].

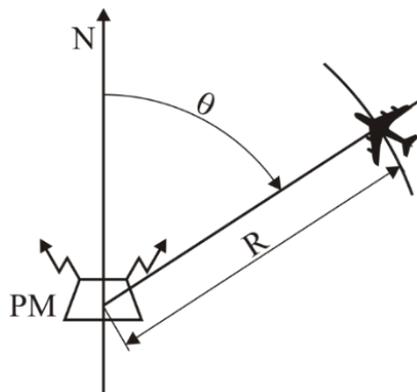


Рис. 1. Определение местоположения ВС

При измеренной высоте полета на воздушном судне, этих данных будет достаточно для нахождения положения судна в полярной системе координат относительно маяка. Таким образом, системы ближней навигации можно отнести к классу угломерно-дальномерных систем, что наглядно представлено на рис. 1.

**Датчики инерциальной навигационной системы (ИНС).** Сущность инерциальной навигации состоит в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленных на воздушном судне приборов, а путём их интегрирования – местоположения этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др. Это осуществляется с помощью:

- датчиков линейного ускорения (акселерометров);
- гироскопов, создающих на объекте систему отсчёта (например, с помощью гироскопов) и позволяющих определять углы поворота и наклона объекта, используемые для его стабилизации и управления движением.
- вычислительных машин, которые по ускорениям, путём их интегрирования, находят скорость объекта, его координаты и другие параметры движения;

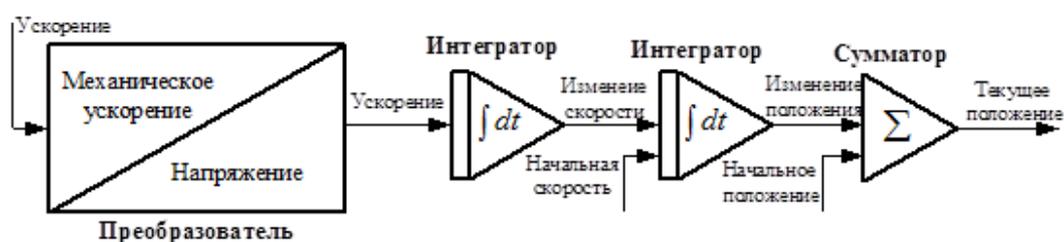


Рис. 2. Упрощенная схема одноканальной инерциальной системы

На упрощённой схеме одноканальной инерциальной системы, изображённой на рис. 2 отображена сущность инерциального метода: измерение акселерометрами ускорений по трём осям и последующем их интегрировании: одинарном – для определения скорости, двойном – для определения координат. Ориентирование измерительных осей акселерометров по заданным направлениям производится свободными или управляемыми (по сигналам от акселерометров) гироскопическими устройствами или астростабилизаторами, а также сочетанием этих средств.

Главным плюсом инерциальной навигации является ее автономность, помехозащищённость и возможность полной автоматизации всех процессов навигации. Благодаря этому методы инерциальной навигации получают всё более широкое применение при решении проблем навигации надводных, подводных и воздушных судов, космических аппаратов и других движущихся объектов [4].

**Алгоритмы комплексирования.** В рассмотренных навигационных системах есть свои достоинства и недостатки. Главным преимуществом системы VOR/DME является возможность надёжного определения местоположения ВС относительно радиостанции, однако, благодаря своим особенностям, она имеет ограничения по дальности и работает только в прямой видимости. Это значит, что препятствия могут закрывать радиомаяк, пока ВС не поднимется на достаточную высоту. Существенный же недостаток инерциальной навигационной системы является то, что ошибки определения координат объекта накапливаются с течением времени. В связи с ростом требований к точности потребовалось решение этих недостатков. Этим решением стали интегрированные системы, основной идеей которых стало комплексирование данных с VOR/DME и датчиков инерциальной навигационной системы для получения более точных координат местоположения ВС. Для выполнения задачи комплексирования необходимо решить задачу фильтрации. Ярким представителем устройств, выполняющих задачу фильтрации, является фильтр Калмана. Пример алгоритма комплексирования навигационных систем на основе фильтра Калмана представлен на рис. 3.

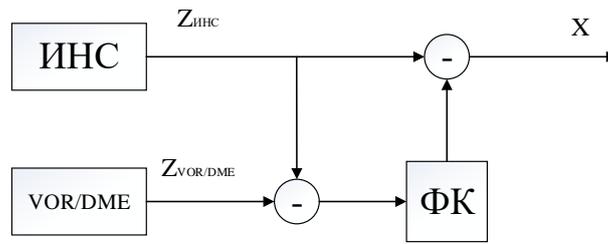


Рис. 3. Алгоритм комплексирования на основе фильтра Калмана

В стандартном алгоритме Калмана находится ошибка ИНС вычитанием из её данных показаний с системы VOR/DME. Эта ошибка зашумляется ошибками приёмника системы ближней навигации. Далее результаты фильтрации вычитаются из показаний ИНС и выдаются в качестве общей оценки местоположения ВС. Стандартный фильтр Калмана содержит 2 режима:

- Предсказание: При этом находится возможное состояние системы в будущий момент времени.

$$\mathbf{x}_{k|k-1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1|k-1},$$

где  $\mathbf{x}_{k|k-1}$  (вектор-столбец  $[1 \times n]$ ) – предсказание состояния системы в данный момент времени по значению в прошлый момент,  $\mathbf{F}$  (квадратная  $[n \times n]$ ) – матрица перехода между состояниями системы;  $\mathbf{F}_{k-1|k-1}$  (вектор-столбец  $[1 \times n]$ ) – оценка состояния системы в предыдущий момент времени. А также предсказываются ошибки ковариации:

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{F}\mathbf{P}_{k-1|k-1}\mathbf{F}^T + \mathbf{Q}_k,$$

где  $\mathbf{P}_{k|k-1}$  (квадратная  $[n \times n]$ ) – апостериорная матрица ковариации ошибок,  $\mathbf{P}_{k-1|k-1}$  (квадратная  $[n \times n]$ ) – апостериорная матрица ковариации ошибок в предыдущий момент времени,  $\mathbf{Q}$  (квадратная  $[n \times n]$ ) – матрица ковариации шума

- Корректировка: При этом вычисляется коэффициент усиления Калмана:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T (\mathbf{H}\mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{R}_k)^{-1},$$

где  $\mathbf{K}_k$  (матрица  $[m \times n]$ ) – коэффициент усиления Калмана,  $\mathbf{H}$  – (матрица  $[n \times m]$ ); измерений, показывающая отношение изменений и состояний;  $\mathbf{R}_k$  (квадратная  $[m \times m]$ ) – матрица шума изменения. Обновление оценки с учётом измерения новых данных:

$$\mathbf{x}_{k|k} = \mathbf{x}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k (\mathbf{Z} - \mathbf{H}\mathbf{x}_{k|k-1}),$$

где  $\mathbf{x}_{k|k}$  (вектор-столбец  $[1 \times n]$ ) – состояние системы в данный момент времени;  $\mathbf{Z}$  (вектор-строка  $[m \times 1]$ , размер которой зависит от вновь поступивших данных) – поступившие новые данные. И обновление ошибки ковариации:

$$\mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k\mathbf{H})\mathbf{P}_{k|k-1},$$

где  $\mathbf{I}$  (единичная) – матрица идентичности;  $\mathbf{P}_{k|k}$  (квадратная  $[n \times n]$ ) – апостериорная матрица ковариации ошибок в текущий момент времени.

Главной проблемой в таком алгоритме является то, что модели системы и измерений не идеальны. Свойства шумов являются изменяющимися во времени параметрами, когда стандартный фильтр Калмана предполагает, что параметры шума на каждом шаге считывания данных известна.

Для решения этого было предложено несколько адаптивных схем этого алгоритма. Одним из главных типов схем является innovation-based adaptive estimation или IAE, представленный на рис. 4.

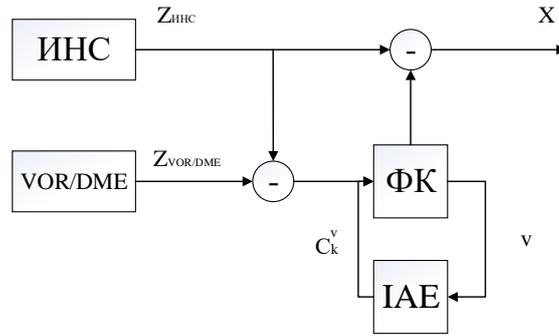


Рис. 4. Алгоритм IAE

Он особенен тем, что матрица шума в фильтре меняется с каждым новым принятым сигналом, при этом обновляющий процесс  $\mathbf{v}_k = \mathbf{Z}_k - \mathbf{H}\mathbf{x}_{k|k-1}$  имеет вид нормального стационарного шума Гаусса с матрицей ковариации:

$$\mathbf{C}_{\mathbf{v}_k} = \mathbf{H}\mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{R}_k.$$

А оценка матрицы ковариации процесса адаптации производится по последовательности обновляющего процесса длиной N:

$$\mathbf{C}_k^V = \frac{1}{N} \sum_{j=k-N}^k \mathbf{v}_j \mathbf{v}_j^T.$$

Коэффициент передачи такого фильтра рассчитывается как

$$\mathbf{K}_{IAE_k} = \mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{C}_k^V{}^{-1}$$

Апостериорная оценка матриц ковариации шумов  $\mathbf{Q}_k$  и  $\mathbf{R}_k$  вычисляется следующим образом:

$$\mathbf{R}_k = \mathbf{C}_k^V - \mathbf{H}\mathbf{P}_{k|k}\mathbf{H}^T$$

$$\mathbf{Q}_k = \mathbf{K}_k \mathbf{C}_k^V \mathbf{K}_k^T + \mathbf{P}_{k|k} - \mathbf{F}\mathbf{P}_{k-1|k-1}\mathbf{F}^T$$

Остальной расчёт проводится согласно обычному алгоритму фильтрации Калмана.

Также наравне с алгоритмом IAE используют multiple model adaptive estimation или MMAE. В отличие от IAE здесь параллельно работают несколько стандартных фильтров Калмана и выбирается лучший из них, либо некоторые алгоритмы объединяются в один для наилучшего результата.

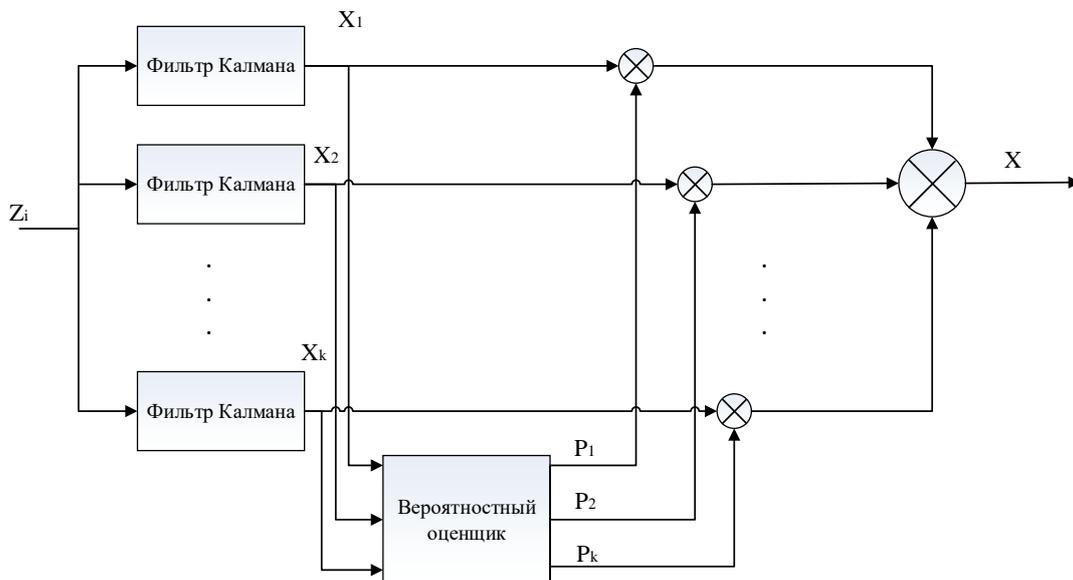


Рис. 5. Схема MMAE алгоритма

Как видно из рис. 5, алгоритм ММАЕ оценивает матрицу ковариации из каждого, входящего в него стандартного фильтра и принимает решение, какая из них больше остальных соответствует истине и на основе этого решения результаты с фильтров умножаются на соответствующий коэффициент от 0 до 1. Затем, все результаты попадают на сумматор для получения наиболее правильного решения [5].

### Библиографический список

1. Об Основных направлениях (плане) развития радионавигации государств – участников СНГ на 2013–2017 годы: совет глав правительств СНГ. 2013. 123 с.
2. Сарайский Ю. Н., Липин А. В., Либерман Ю. И. Аэронавигация. Ч. II. Радионавигация в полете по маршруту. СПб.: СПбГУ ГА, 2013. 383 с.
3. Радиотехнические системы ближней навигации. URL: [https://studref.com/332634/tehnika/radiotekhnicheskie\\_sistemy\\_blizhney\\_navigatsii](https://studref.com/332634/tehnika/radiotekhnicheskie_sistemy_blizhney_navigatsii) (дата обращения: 26.03.2019).
4. Помыкаев И. И. Инерциальная навигационная система. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/054/625.htm> (дата обращения: 26.03.2019).
5. Соловьев И. С. Комплексирование данных инерциальных и спутниковых навигационных систем: вкр бакалавра. СПб., 2017. 54 с.

УДК 550.34.01

А. Ю. Крузе, М. И. Палагин, Д. А. Сумин

магистранты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

А. И. Панферов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ СПУТНИКОВ

С началом миссии TanDEM-X – оперативного распределенного радиолокационного приложения – кросс-трековая интерферометрия была успешно использована для получения цифровых кадров Земли в течение десятилетий за счет объединения данных, полученных при повторных проходах одного космического корабля.

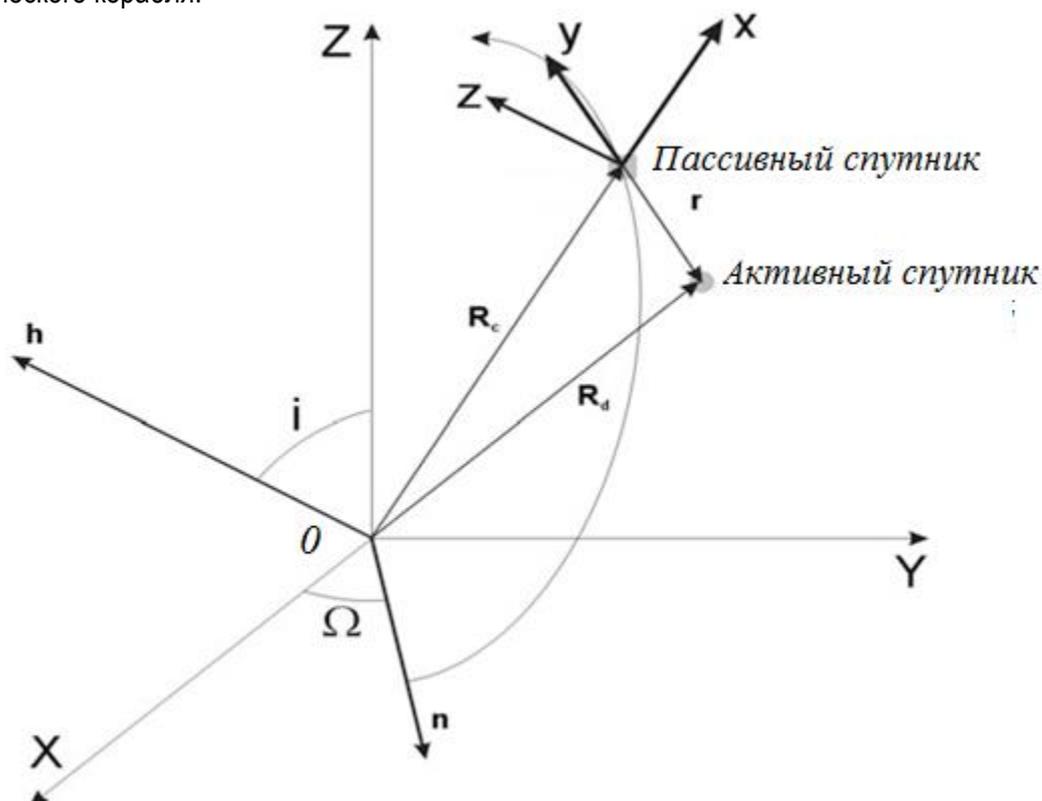


Рис. 1. Система координат для описания относительного движения

где 0 – центр,  $\Omega$  – скорость вращения земли,  $R_c$  – расстояние до пассивного спутника,  $R_d$  – расстояние до активного спутника,  $r$  – расстояние между спутниками,  $x, y, z$  – система относительных координат.

Для более точного позиционирования и управления космическим аппаратом (КА) вводится системы управления сближением КА, используя упрощенную модель относительного движения близкорасположенных спутников в виде системы уравнений [2, 3]:

$$\begin{aligned}\ddot{x} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{z} &= 0, \\ \ddot{y} + \omega^2 \cdot y &= 0, \\ \ddot{z} - 3 \cdot \omega^2 \cdot z - 2 \cdot \omega \cdot \dot{x} &= 0,\end{aligned}$$

где  $x, y, z$  – это относительные координаты спутников.

Возможность использования такой модели объясняется относительно быстрым процессом сближения по сравнению с периодом вращения спутника вокруг планеты. Более сложные модели будут использованы на этапе исследования реальной точности системы сближения.

На рис. 2 отображена схема моделирования. Ниже приведены численные результаты моделирования для вращения основного спутника вокруг планеты с угловой скоростью  $\omega = 1/(12 \cdot 3600) \text{c}^{-1}$ . При моделировании предполагается, что в начальный момент времени вектор скорости основного и второго

спутников различны и отличаются скоростью  $\dot{z}(0) = 10$  м/с. Расстояние второго спутника относительно основного определяются координатами  $x(0) = 100$  м,  $y(0) = 200$  м,  $z(0) = 300$  м. Начальные условия задаются непосредственно в соответствующих интеграторах.

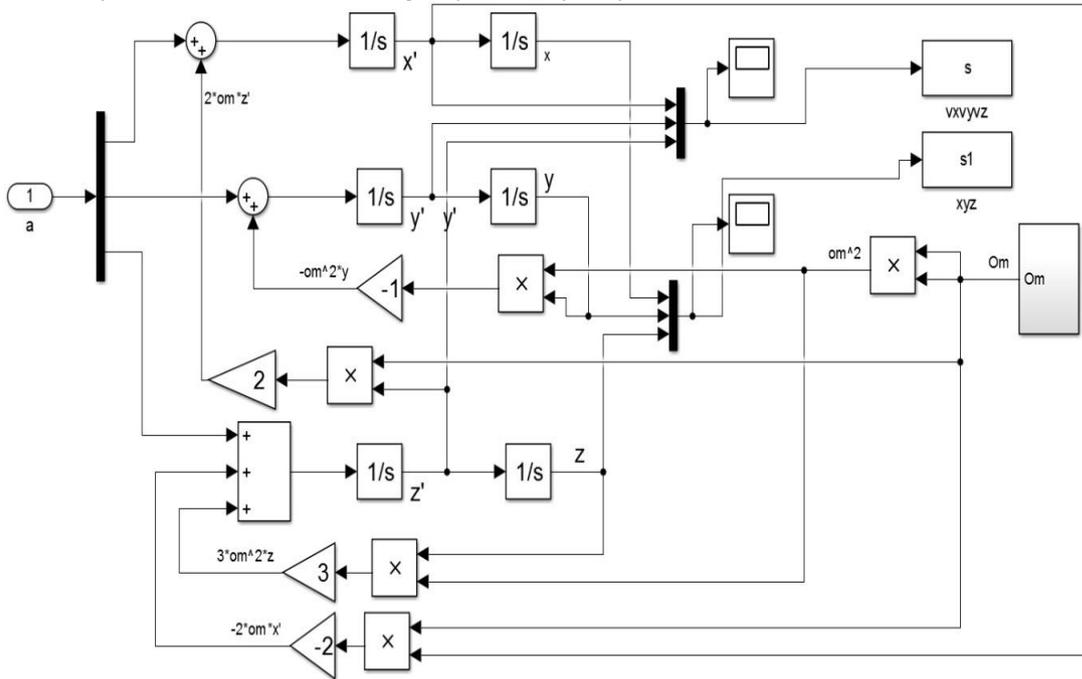


Рис. 2. Схема моделирования относительного движения близкорасположенных спутников

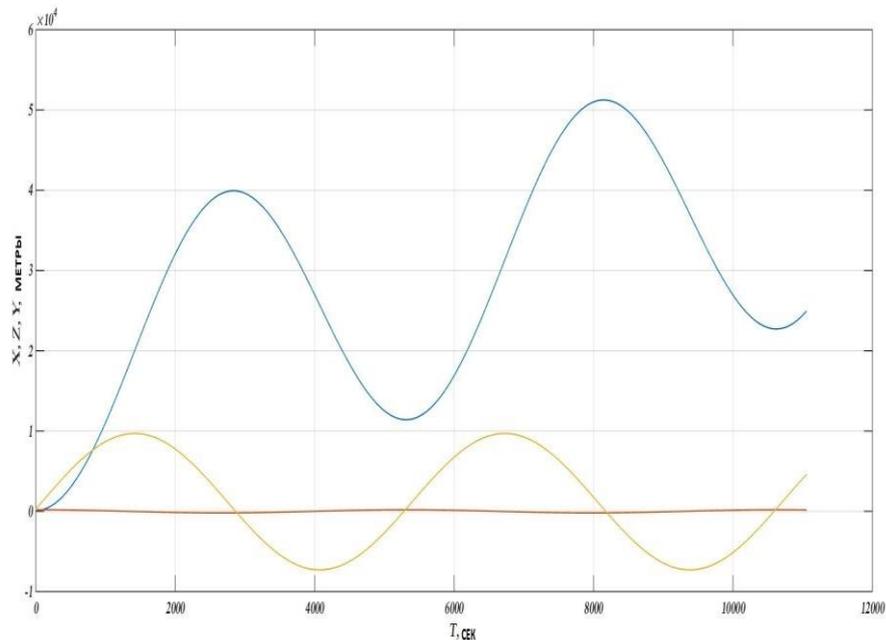


Рис. 3. Изменения во времени проекций взаимного расстояния основного и второго спутников

На рис. 3 наблюдается явное расхождение активного и пассивного спутников.

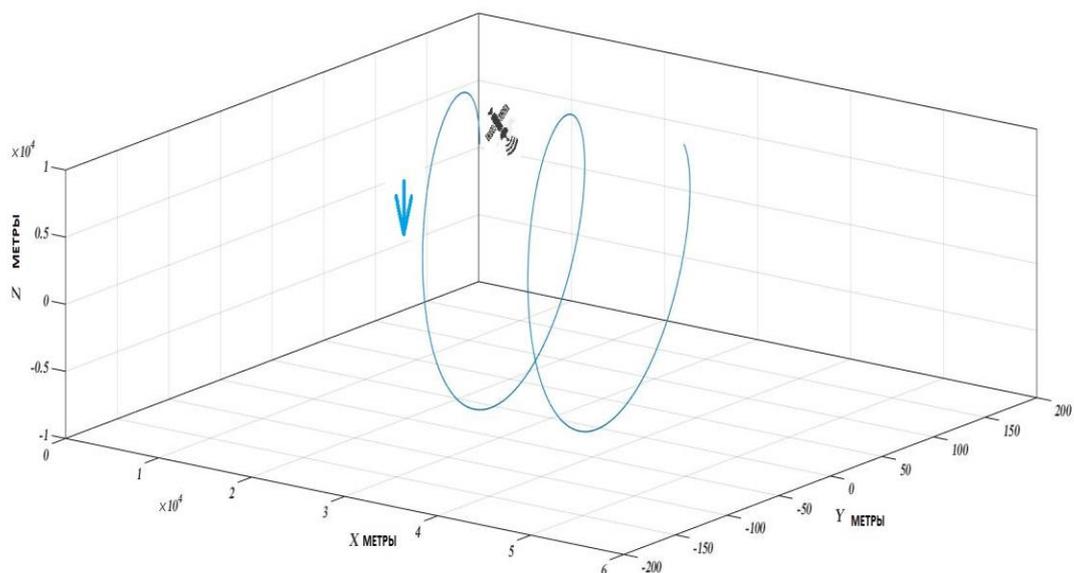


Рис. 4. Изменения координат  $x(t)$ ,  $y(t)$  и  $z(t)$  в процессе вращения вокруг планеты

На рис. 4 изображен период вращения спутника с его постепенным смещением от начальных координат.

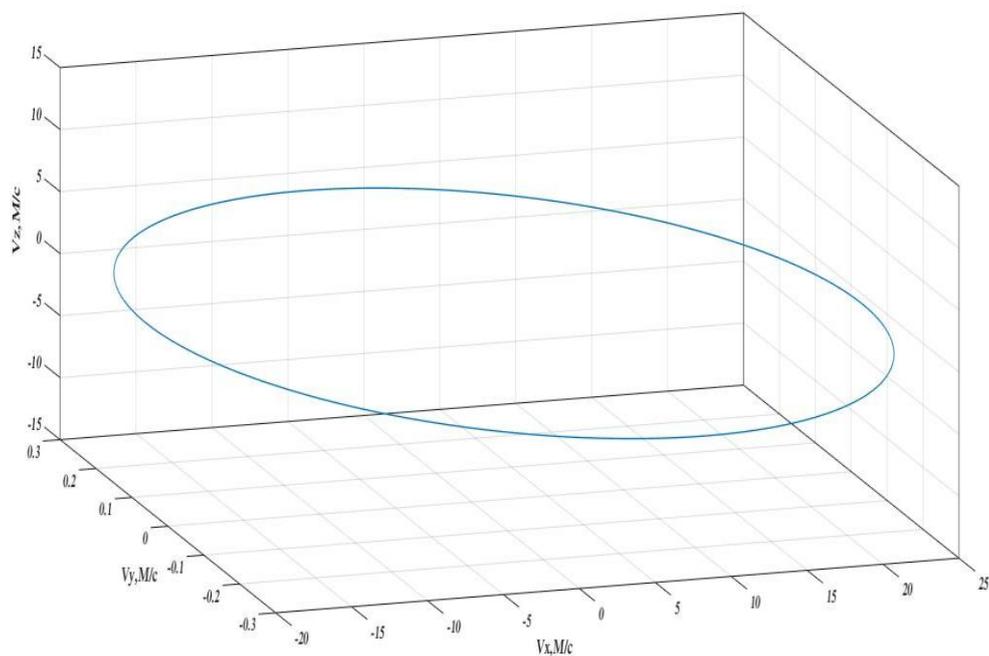


Рис. 5. Изменения проекций скорости на оси  $x$ ,  $y$  и  $z$  в процессе вращения вокруг планеты

На рис. 3–5 приведены результаты моделирования, созданные в программе Matlab.

Таким образом, из-за сложного относительного движения группы спутников в неоднородном гравитационном поле происходит нарушение их первоначальной конфигурации и увеличение расстояния между ними. Для обеспечения устойчивости конфигурации группы спутников, движущихся вокруг планеты необходимо использовать систему управления, основанную на измерении относительных координат и скоростей спутников и приложении стабилизирующих сил с помощью специальных двигате-

лей малой тяги. В качестве таких двигателей рекомендуется использовать электрореактивные двигатели. Такие двигатели имеют рекордное значение удельного импульса и, по этой причине, обеспечивают предельно малый расход рабочего тела в процессе стабилизации формы группы спутников.

#### Библиографический список

1. D'Errico M. Distributed Space Missions for Earth System Monitoring. New York Springer Heidelberg Dordrecht London, 2016.
2. Panferov A. I., Nebylov A. V., Brodsky S. A. Relative Navigation and Positioning of Nanosatellites in Formation. In AIRTEC Congress. Munich, 2017.
3. Panferov A. I., Nebylov A. V., Ponomarev V. K. An Adaptive Algorithm for Estimating the Mutual Arrangement of Small Satellites in a Group. In 1st IFAC Workshop on Advanced Control and Navigation for Autonomous Aerospace Vehicles ACNAAV, IFAC – PapersOnline. Seville, Spain, 2015. P. 228–232.
4. Елисеев А. С. Техника космических полетов. М.: Машиностроение, 1983. 307 с.
5. Нусинов М. Д. Воздействие и моделирование космического вакуума. М.: Машиностроение, 1982. 176 с.

## УДК 62-523.8

**П. А. Назаренко, А. И. Задириенко**

студенты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**Н. А. Овчинникова** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

Квадрокоптер представляет собой беспилотный летательный аппарат, имеющий четыре двигателя с воздушными винтами, создающими тягу. Оси винтов и углы лопастей статичны и регулируется лишь скорость вращения, существенно упрощая конструкцию. На данный момент подобные аппараты используются достаточно широко и разнообразно, но использование ограничено, в основном, из-за режима «ручного» дистанционного управления. Однако реакция человека слишком медленна для эффективной стабилизации, поэтому на практике используются системы автоматической стабилизации на основе показаний набора датчиков, установленных на квадрокоптере: датчиков угловых скоростей, акселерометров и магнитометра. С помощью магнитометра систему стабилизации по углу рысканья можно легко доработать. Также данный угол не критичен для удержания квадрокоптера в воздухе, поэтому приоритетной задачей данной работы является стабилизация летательного аппарата по крену и тангажу. Вопрос о стабилизации полёта квадрокоптера возникает из принципа его работы. Для наглядности, стабильность полёта планера или самолета обусловлена их устойчивостью, возможностью восстанавливать без вмешательства пилота кинематические параметры невозмущенного движения и возвращаться к исходному режиму полёта после прекращения действия возмущений. Квадрокоптер же таким свойством не обладает и при малейшем внешнем воздействии начинается «неуправляемое снижение».

### Главные принципы стабилизации полёта квадрокоптера

Чтобы эффективно стабилизировать квадрокоптер в полете необходимо:

- иметь возможность определения, в каком состоянии находится система в данный момент;
- иметь возможность оказывать управляющие воздействия на систему;
- знать, в каком состоянии будет поддерживаться система.

Для управления угловым положением и траекторией полета выделяют четыре метода:

1. При использовании пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятора, при изменении центра масс квадрокоптера, можно получить простую структуру и мало сигналов обратной связи.
2. При использовании пропорционально-дифференцирующий регулятора, обнуляется интегральный коэффициент.
3. При использовании метода «бэкстеппинг», диапазон изменения углового положения регулятора достаточно мал.
4. Комбинированный метод. Включает сильные стороны вышеупомянутых методов, но получается на выходе более сложная система.

Из-за большого объема информации, рассказать о них подробно в данной статье не представляется возможным, поэтому рассмотрим систему в упрощенном общем виде.

Первоочередной задачей для стабилизации квадрокоптера является определение его абсолютного положения в пространстве. Стабилизация выполняется по определенным параметрам: высоте, углам, линейным перемещениям.

Наилучшим решением для квадрокоптера, будет использование микроэлектромеханических датчиков. Они имеют ряд положительных особенностей: малые массогабаритные показатели, высокое быстродействие, функциональность и надежность. В то же время не лишены недостатков: зависимость показаний от температуры, дрейф нуля, чувствительность к вибрациям.

Определение крена, тангажа и рысканья осуществляется с помощью датчика угловых скоростей. Для определения угла с помощью датчика угловых скоростей необходимо интегрировать его показания, к примеру, методом прямоугольников:

$$a = a_0 + \omega * t,$$

где  $\alpha$  – текущее значение угла,  $\alpha_0$  – предыдущее значение угла,  $\omega$  – текущее значение угловой скорости,  $t$  – время между измерениями.

Таким образом, датчик угловых скоростей с временным интервалом  $t$  будет постоянно опрашиваться, получив моментальное значение угловой скорости  $\omega$  и вычислив текущее значение угла ( $\alpha$ ), прибавив к предыдущему значению угла ( $\alpha_0$ ) приращение за данный промежуток времени. Но из-за такого подхода вместе с приращением постоянно суммируется и ошибка, вызванная погрешностью датчика угловых скоростей. Все это приводит к тому, что значение угла, с увеличением времени, будет отклоняться от реального. Также необходимо будет усреднять значения датчика угловых скоростей из-за большого разброса показателей.

Для корректировки значений вычисленных углов используется акселерометр, на выходе которого будут значения суммы проекции ускорения свободного падения и проекции абсолютного ускорения объекта на ось. Если система находится в статическом положении или собственное ускорение будет равно нулю, то углы наклона рассчитываются по следующим формулам:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right); \beta = \arctg\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right); \gamma = \arctg\left(\frac{A_z}{\sqrt{A_y^2 + A_x^2}}\right),$$

где  $A_x, A_y, A_z$  – проекции вектора ускорения свободного падения на оси  $X, Y, Z$  соответственно.

Важное условие: акселерометр выдает точные значения только в состоянии покоя. В движении к показаниям прибавляется проекция вектора собственного ускорения и значение угла «уходит». Но в такой системе как квадрокоптер, акселерометр нужен лишь для коррекции значений углов. Важная особенность: используя лишь акселерометр, выровнять относительно горизонта возможно лишь углы крена и тангажа.

Коррекция угла рысканья невозможна из-за совпадения оси вращения с вектором  $G$ . Специально для решения этого вопроса используют цифровой компас, он же магнитометр, который вводит еще один вектор в систему. Магнитометр также имеет недостаток – низкая точность. Его погрешность может достигать 5 градусов, а при близком расположении с двигателями квадрокоптера и силовых линий питания данная погрешность только увеличивается.

Еще одним важным элементом стабилизации полёта квадрокоптера является высотомер. Он необходим, чтобы удерживать необходимую высоту, а также для безопасной посадки в автоматическом режиме. Ультразвуковые высотомеры рационально использовать на относительно малых высотах. Для больших высот используются лазерные высотомеры или высотомеры на бародатчике. Высокой точности от такой системы не требуется, приемлемой является погрешность в 1 сантиметр. Квадрокоптер весьма динамичная система, что обуславливает высокие требования к быстрдействию.

### Вывод

Обязательное условие для стабилизации полёта квадрокоптера: необходимо знать его абсолютное положение в пространстве, приоритетны углы крена и тангажа. Самостоятельно датчик угловых скоростей не сможет определить углы, а для получения точных данных необходимо вводить коррекцию с помощью акселерометра и магнитометра.

### Библиографический список

1. Бурдуков А. В. Разработка ультразвукового измерителя дальности. СПб.: ГУАП, 2010. С. 17–22.
2. Самойлов А. С. Стабилизация квадрокоптера по крену и тангажу под управлением системы Linux. СПб.: СПбГУ, 2013. С. 9–13.
3. Кузнецов Д. Н., Перебейнос В. В. Выбор и исследование инерциальных датчиков для стабилизации полета квадрокоптера // XIII Международная научно-техническая конференция «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых». 2013.
4. Перебейнос В. В. Разработка и исследование электронной системы стабилизации полёта квадрокоптера. URL: <http://masters.donntu.org/2013/fkita/perebeinos/diss/index.htm#ref> (дата обращения: 19.03.2019).
5. Ефимов И. А. Програмируем квадрокоптер на Arduino. URL: <https://habr.com/ru/post/227425> (дата обращения: 19.03.2019).

## УДК 629.7.05

**А. А. Пляскина**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**В. К. Пономарев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЕРТОЛЕТНОГО ПРОЖЕКТОРА С ФУНКЦИЕЙ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

Для проведения поисково-спасательных, аварийно-спасательных операций, а также патрульных, следственно-розыскных и охранных мероприятий, современные вертолеты оснащаются источниками высокоинтенсивного излучения в видимом и инфракрасном диапазонах. Они включаются в состав бортового оборудования и именуется поисково-осветительными прожекторами. Наиболее совершенное устройство этого типа, прожектор TSL-1600, разработано и в России для вертолета Ми-8АМТШ-ВА [1]. Этот прожектор имеет мощность 1600 ватт и силу света 30 миллионов кандел, дальность действия до 2000 метров, а встроенный ИК-фильтр позволяет работать как в видимом, так и в ближнем ИК – диапазоне [2]. Источник излучения в прожекторе установлен в управляемый карданный подвес, который позволяет разворачивать луч в пределах 350 градусов по азимуту и от +10 градусов вверх до –110 градусов вниз по наклону. Управление подвесом электрическое. Команды на управление разворотом прожектора подаются в цифровом виде с помощью ручного пульта или органов управления на приборной доске пилота. Общий вид прожектора и его пульта управления представлен на рис. 1 [3].

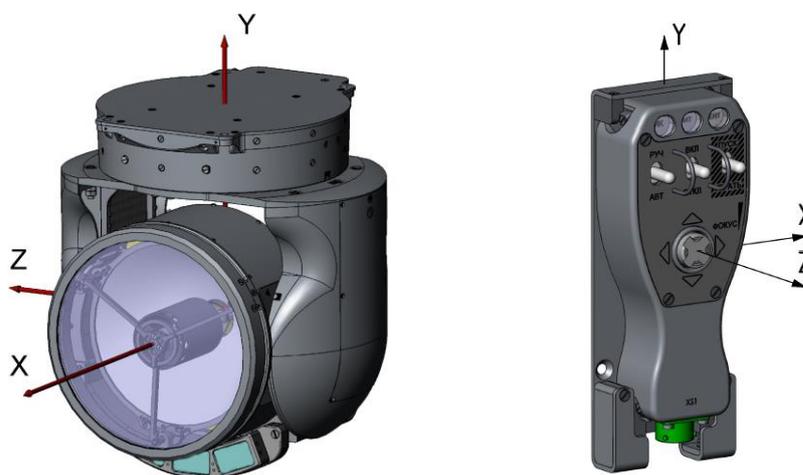


Рис. 1. Общий вид прожектора TSL-1600 и пульта его управления

По осям подвеса в прожекторе установлены оптические датчики углов (энкодеры), с помощью которых информация об угловом положении излучателя передается в бортовой навигационный комплекс для определения положения пеленгуемого объекта относительно вертолета.

Существенное расширение функциональных возможностей прожектора при проведении поисково-спасательных работ может быть достигнуто при установке на корпусе излучателя малогабаритной видеокамеры и реализации режима его стабилизации в пространстве. Установка видеокамеры даст возможность регистрировать результаты поиска, использовать дополнительные возможности оптического способа увеличения изображения, проводить поисковые работы в тех областях исследуемого пространства, которые недоступны прямому наблюдению экипажем, а стабилизация видеокамеры совместно с излучателем в пространстве позволит получить качественное изображение при наличии угловых колебаний вертолета и его эволюций в процессе полета без необходимости постоянного ручного управления прожектором.

В докладе рассматриваются концептуальные вопросы построения системы гироскопической стабилизации излучателя в пространстве с учетом возможностей технической реализации системы.

Поскольку создание полноценной системы ориентации, даже бесплатформенного типа, размещаемой в корпусе излучателя представляется проблематичным и требует фактически разработки новой конструкции прожектора, предлагается решить задачу на основе принципов косвенной стабилизации объектов на подвижном основании [3]. В этом случае система пространственной стабилизации

строится на базе следящей системы, работающей в связанной с корпусом системы координат, на вход которой подаются сигналы, компенсирующие влияние угловых эволюций вертолета на положение луча в пространстве. Компенсационные сигналы вычисляются на основании данных о заданном положении линии визирования и текущих углов ориентации вертолета. Данные об углах ориентации вертолета могут быть получены из бортового навигационно-пилотажного комплекса вертолета (предпочтительно), либо от автономно работающей микронавигационной системы, включаемой в состав прожектора и размещаемой на борту вертолета в непосредственной близости к месту установки прожектора.

Технология использования стабилизируемого в пространстве прожектора предусматривает последовательную реализацию следующих режимов работы:

- режим включения прожектора и подготовка его к работе;
- режим обзора местности и поиска целей;
- режим стабилизации;
- режим выключения.

В режиме обзора и поиска целей используются процедуры ручного управления прожектором, установленные инструкцией по эксплуатации изделия стандартного исполнения. При этом, однако, наличие видеокамеры дает возможность выполнить задачу во всей области пространства, ограниченной предельными углами поворота прожектора по азимуту и наклону. После наведения оси прожектора на пеленгуемый объект (захват цели) включается режим стабилизации. При этом последние показания энкодеров перед включением режима запоминаются в контроллере прожектора и, наряду с данными об углах ориентации вертолета для этого же момента времени, используются для вычисления положения линии визирования в базовой (опорной) системе координат. Алгоритм вычисления, полученный с использованием матричного метода преобразования координат, имеет вид

$$\alpha_{\text{ц}} = \arcsin(n_{11}p_{12} + n_{12}p_{22} + n_{13}p_{32}); \quad (1)$$

$$\beta_{\text{ц}} = -\arctg \frac{n_{11}p_{13} + n_{12}p_{23} + n_{13}p_{33}}{|n_{11}p_{11} + n_{12}p_{21} + n_{13}p_{31}|}, \quad (2)$$

где:  $p_{ij}$  – элементы матрицы направляющих косинусов вертолета;  $n_{ij}$  – элементы матрицы ориентации излучателя прожектора относительно связанной с вертолетом системы координат;

$\beta_{\text{ц}}, \alpha_{\text{ц}}$  – углы положения линии визирования в опорной системе координат по азимуту и в вертикальной плоскости.

В режиме стабилизации углы положения излучателя по наклону и азимуту в связанной с вертолетом системе координат вычисляются непрерывно по формулам

$$\alpha_a = \arcsin(m_{11}p_{21} + m_{12}p_{22} + m_{13}p_{23}); \quad (3)$$

$$\beta_a = -\arctg \frac{m_{11}p_{31} + m_{12}p_{32} + m_{13}p_{33}}{|m_{11}p_{11} + m_{12}p_{12} + m_{13}p_{13}|}, \quad (4)$$

где  $m_{ij}$  – элементы матрицы ориентации линии визирования в опорной системе координат.

Функциональная схема реализации процесса стабилизации прожектора в пространстве представлена на рис. 2.

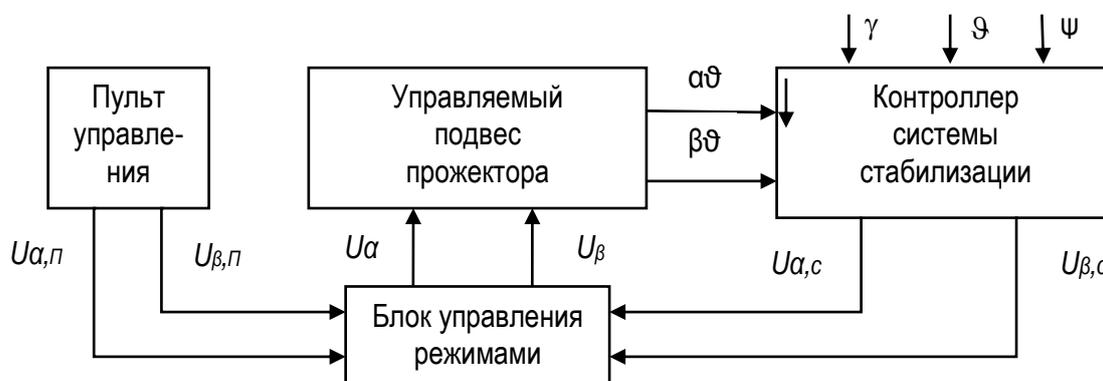


Рис. 2. Функциональная схема стабилизированного в пространстве прожектора

В контроллере системы стабилизации осуществляются вычисления положения линии визирования в пространстве по формулам (1) и (2), вычисления поправок, связанных с изменением углов ориентации вертолета, по формулам (3) и (4), а так же вычисления, связанные с формированием структуры следящей системы и коррекции ее динамических характеристик.

Синтез следящей системы выполнен в частотной области по методике, изложенной в [5;6]. При этом к регулятору системы были предъявлены требования по обеспечению предельно допустимой динамической ошибки стабилизации в условиях угловой качки вертолета в диапазоне 1–5 Гц и требования к верхней границе рабочей полосы частот (10 Гц). По результатам математического моделирования спроектированной системы стабилизации установлено, что относительный коэффициент динамической ошибки стабилизации (коэффициент развязки) составляет величину равную 20, что гарантирует разрешающую способность видеорегистрации лучше 10 см. Эти показатели достаточны для различения и опознавания пеленгуемых объектов, имеющих размеры более 1м, с расстояния 1000м при колебаниях вертолета по угловым параметрам с амплитудой до 2град.

### Библиографический список

1. АвиаПорт. URL: [AviaPort.ru](http://AviaPort.ru) >digest/2014/05/26/289193/html (дата обращения: 11.03.2019).
2. Revolution.Aero Europe: конференция об инновациях в бизнес-авиации. URL: [jets.ru](http://jets.ru) >business – aviation/prjzhektor\_dlya....1600 (дата обращения: 11.03.2019).
3. Новости ВПК. URL: [vpk.name](http://vpk.name) >Библиотека>f/tsl-1600/htm (дата обращения: 11.03.2019).
4. Ривкин С. С. Стабилизация измерительных устройств на качающемся основании. М.: Наука, 1978. 320 с.
5. Бесекерский В. А., Фабрикант Е. А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. Л.: Судостроение, 1968. 351 с.
6. Пономарев В. К., Газарян И. Р. Синтез регулятора гиростабилизатора по заданным требованиям к статическим и динамическим ошибкам // Известия Тульского государственного ун-та. Технические науки. 2017. № 9-2. С. 79–88.

УДК 621.452.3

**А. О. Шамаев, Д. А. Капитонов**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**А. А. Макаров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Авиационный двигатель – сложное комплексное техническое решение, подвергающееся в процессе своей эксплуатации воздействию как очень высоких, так и очень низких температур, а также их перепадам. И температурный режим является очень важным ограничением для любого технического элемента. Для полного, безопасного и качественного выполнения заложенных функций, работа конструкции должна проходить в рабочем температурном диапазоне, заранее заложенным и рассчитанным производителем. Безусловно, что при использовании авиационных двигателей нет компромиссов, в первую очередь разработчики думают о безопасности использования данной силовой установки, а эта безопасность – напрямую связана с контролем и поддержанием температуры всех элементов в предусмотренном диапазоне рабочих температур. Для каждого элемента эти диапазоны температур обусловлены разными факторами, где-то особенностями используемого материала, где-то свойствами используемых жидкостей, где-то спецификой условий эксплуатации, и так далее. Задачей стоит рассмотреть основные элементы конструкций авиационного двигателя, требующие специального охлаждения, способы охлаждения этих элементов, предусмотренные производителем, а также рассмотреть более подробно систему охлаждения масла авиационной силовой установки, для разработки автоматизированного решения контроля и предупреждения превышения рабочей температуры масла в двигателях.

Система охлаждения газотурбинной установки (ГТУ) должна удовлетворять следующим требованиям:

- температура металла охлаждаемых деталей должна быть такой, чтобы не уменьшить его прочностные свойства и заданный ресурс работы;
- градиенты температур охлаждаемых деталей не должны превышать значений, при которых температурные напряжения достигают опасных значений или возникает возможность недопустимого коробления деталей;
- затраты энергии на охлаждение должны быть значительно ниже полезной энергии, вырабатываемой ГТУ.

Рассмотрим основные элементы авиационной газотурбинной силовой установки, которые нуждаются в охлаждении. Прежде всего стоит отметить, что различные элементы в авиационных двигателях, могут охлаждаться разными способами, и со своими особенностями. Так корпус газотурбинной установки, ротор, сопловые рабочие лопатки и частично опорный подшипник охлаждаются за счет потока протекающего через двигатель воздуха. За счет особенностей конструкции создается особое течение воздуха внутри турбины и вокруг ее элементов, требующих усиленный отвод тепла. Происходит теплообмен, и излишки тепла передаются воздуху и выводятся в атмосферу. Также в некоторых элементах используется специальный слой теплоизолирующего материала, предохраняющий от перегрева. Часто, система управления и контроля производит съем значений температуры с датчиков, установленных внутри ГТУ, и может регулировать зазоры и количество воздуха, поступающего на охлаждение отдельных элементов или всей турбины в совокупности.

Вторым способом охлаждения, который используется в авиационных ГТУ является система масляного охлаждения. Она же является системой смазки и суфлирования. Масло в этой системе выполняет сразу несколько функций, таких как теплоотвод и охлаждение элементов, подверженных перегреву, смазывание трущихся деталей и удаление загрязнений и побочных продуктов трения из внутренних полостей двигателя. Само масло в двигателе находится в состоянии постоянной циркуляции. Также масло постоянно нагревается из-за интенсивного тепловыделения, вызванного трением в смазываемых узлах, при контакте с горячими стенками корпусов опор и от тепла, вносимого воздухом, проникающим в масляные полости опор через уплотнения валов. Поэтому в циркуляционном контуре масляной системы требуется производить непрерывное охлаждение масла, для того, чтобы в каждом очередном цикле циркуляции оно поступа-

ло в систему нагнетания с величиной температуры, не превышающей допустимый уровень, заявленный в технических условиях на двигатель.

Охлаждение масла осуществляют в специальных теплообменниках. Сейчас, в большинстве современных газотурбинных двигателей используется охлаждение масла авиационным топливом, в топливо-масляных теплообменниках (ТМТ). Это позволяет решать сразу несколько задач, таких как отвод тепла от разогретого масла, подогрев топлива перед его попаданием в камеру сгорания, возможность оценки температуры масла на входе в двигатель для всех условий работы силовой установки, что дает возможность строить зависимости температуры масла от расхода топлива, и управлять этими процессами автоматически. Для съема тепла в масляных системах современных авиационных двигателей при использовании в качестве хладагента топлива применяют высокоэффективные теплообменники трубчатого типа (рис. 1) [1].

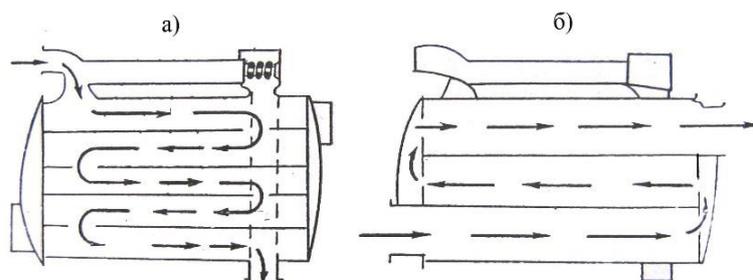


Рис. 1. Схема трубчатого топливомасляного теплообменника, с примером движения: а) масло; б) топливо

В самолетах, на которые устанавливаются турбовинтовые двигатели (ТВД) применяются воздухомасляные теплообменники (ВМТ). Они устанавливаются в специальные туннели, где можно регулировать расход охлаждающего воздуха. Применение ВМТ связано с тем, что турбовинтовые двигатели намного более экономичные чем турбовентиляторные или двухконтурные, и на таких двигателях расходуемого топлива просто не будет хватать для отвода нужного количества тепла от двигателя. В качестве примера [рис. 2] представлен воздушно-масляный теплообменник (ВМТ) и показана схема движения в нем хладагентов. Теплопередающие соты агрегата представляют собой набор упакованных в корпус круглых охлаждающих трубок. Зазоры между трубками служат проходами для масла. Охлаждающий воздух протекает внутри трубок. Поступившее в теплообменник масло, пройдя все межтрубное пространство, направляется в коллектор и далее в патрубок для выхода масла [1].

Регулирование температуры масла в воздухомасляных теплообменниках обеспечивается за счет изменения расхода охлаждающего воздуха. Расход воздуха увеличивают или уменьшают за счет изменения площади выходного сечения туннеля путем поворота заслонки.

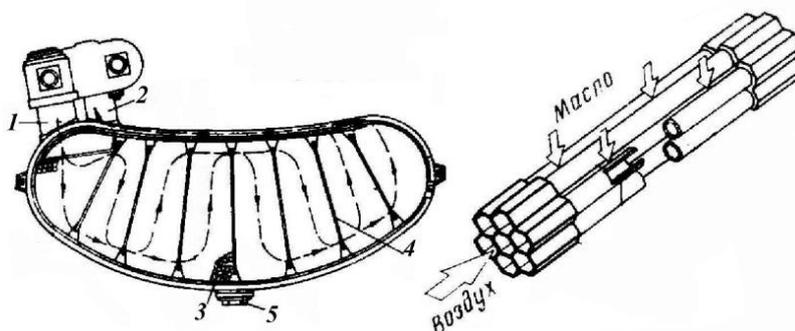


Рис. 2. Конструктивная схема воздухомасляного теплообменника сотового типа:  
1 – патрубок входа масла; 2 – патрубок выхода масла; 3 – отдельная секция;  
4 – перегородка; 5 – сливная пробка

Есть случаи, когда возникает необходимость использовать комбинированную схему охлаждения масла, включающую и топливомасляный и воздухомасляный теплообменники. Учитывая высокую эконо-

мичность ТВД, хладоресурса топлива для охлаждения масла однозначно оказывается недостаточно. Поэтому разработчик такого двигателя при его проектировании должен выбрать способ охлаждения масла – либо чисто воздушный, либо комбинированный. Определяющими критериями при этом должны быть приемлемость габаритных размеров маслоохладителей и их массы, простота конструкции и удобство эксплуатации системы охлаждения масла [1].

Требования к применяемым авиационным маслам стоят следующие:

- Надежное смазывание всех узлов и агрегатов с минимальным износом в пределах рабочих температур от  $-50$  до  $+200$  °С;
- Вязкостно-температурная кривая должна быть пологой, а масло обладать хорошей прокачиваемостью при низких температурах (пусковые свойства должны обеспечивать надежный запуск без подогрева до  $t -50$  °С);
- Однородный и стабильный фракционный состав, который обеспечит минимальную испаряемость фракций и сохранит вязкостные характеристики в течение всего времени работы;
- Высокие антиокислительные свойства и минимальное окисление при рабочих температурах  $150-200$  °С и выше;
- Минимальная вспениваемость, высокая температура самовоспламенения;
- Неагрессивность по отношению к металлам, сплавам, резинотехническим изделиям, покрытиям, клеям и другим материалам [3].

В результате работы был разработан рабочий макет, позволяющий легко понять принцип работы системы охлаждения, основные элементы, и способы настройки подобных систем. Также система позволяет полностью автоматизировать регуляцию температуры и возможность поддержания ее в рабочем диапазоне. А сравнительно небольшая стоимость макета, делает его доступным практически каждому.

Разработанный макет (рис. 3) представляет из себя систему измерения и контроля температуры, состоящую из датчика температуры, контроллера, и исполнительного механизма.

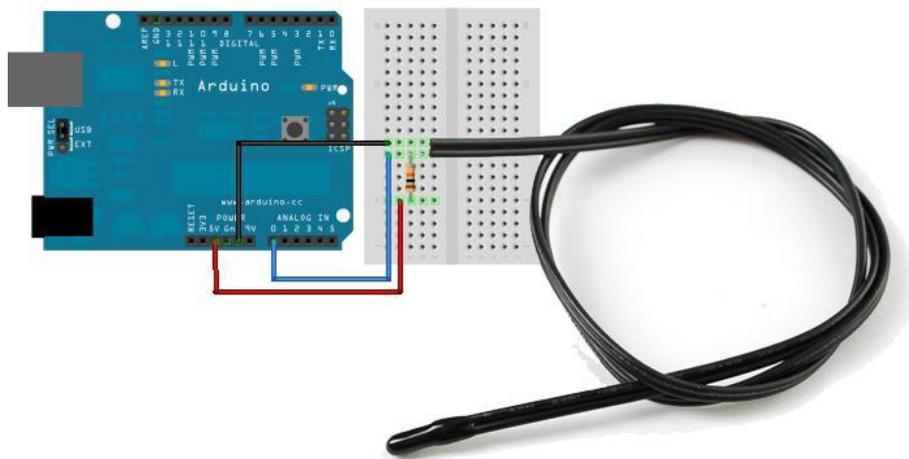


Рис. 3. Схема макета

Принцип работы заключается в том, что датчик измеряет температуру среды, в которой находится, и передает значение этой температуры на контроллер. Информация о значении температуры обрабатывается в контроллере, и, если значение температуры находится в рабочем диапазоне, то ничего не происходит. Но если значение температуры приближается к границе рабочего температурного диапазона, то контроллер подает сигнал на исполнительный двигатель, который в свою очередь может открывать заслонки, открывая путь охлаждающему воздуху, либо включать специальный вентилятор охлаждения (кулер). Когда значение температуры, принимаемое контроллером с датчика, возвращается в допустимый рабочий диапазон, то сигнал с контроллера на исполнительный двигатель перестает поступать, вентилятор (кулер) прекращает работу, или заслонка закрывается. В качестве датчика температуры использован термистор (терморезистор) – это резистор, который меняет свое сопротивление с изменением температуры (рис. 4). При сравнении термисторов с аналоговыми, цифровыми датчиками температуры или термопарами, основными преимуществами термисторов можно выделить:

- термисторы дешевле, чем все перечисленные выше датчики температуры;
- термистор проще использовать в условиях повышенной влажности;
- термисторы работают с любым напряжением (цифровые датчики требуют 3 или 5В напряжения питания);
- если сравнить термистор и термопару, то первым не нужен усилитель сигнала, чтобы считывать данные. Соответственно, можно использовать практически любой микроконтроллер;
- высокая точность показаний (может производить измерения температуры с точностью  $\pm 0.25^\circ\text{C}$ );
- высокая надежность.

Из минусов можно отметить, что диапазон температур, который можно измерить с помощью термисторов не такой широкий как у термопар и их настройка для снятия показаний тоже несколько сложнее. В данном макете использован термистор с диапазоном измеряемых температур от  $-55^\circ\text{C}$  до  $125^\circ\text{C}$ . При необходимости можно заменить его на термопару, тем самым расширив диапазон [6].

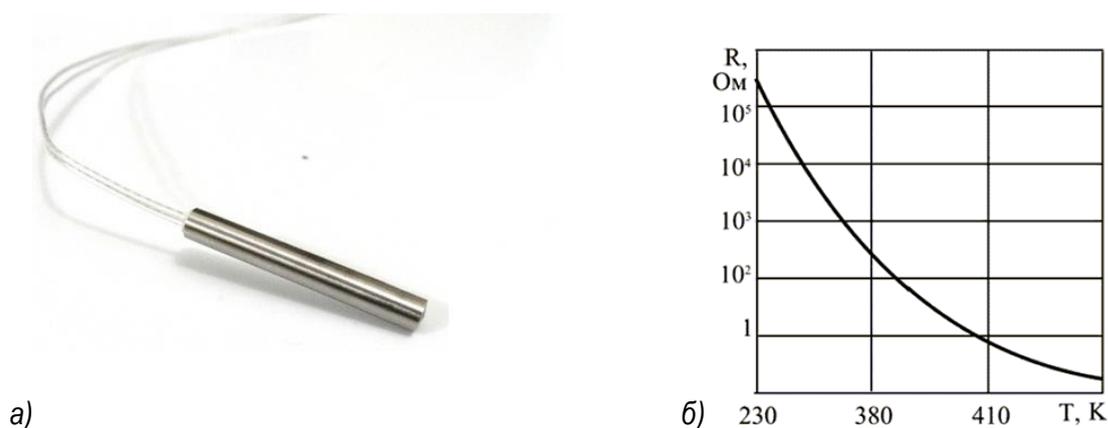


Рис. 4. а) Терморезистор; б) Температурная зависимость сопротивления терморезистора в рабочем интервале температур [5]

В качестве контроллера взят Arduino MEGA 2560. Это современный контроллер, который слывет во всем мире своим широким функционалом, возможностью совместного использования с множеством подключаемых модулей, а также удобством и простотой использования. Сравнительно низкие цены на составные элементы макета делают его доступным практически каждому, что дает возможность использовать этот макет как наглядное пособие, средство для обучения или в качестве установки для лабораторных занятий. Макет наглядно показывает принцип работы системы автоматического регулирования температуры и помогает понять работу каждого из составляющих элементов. Также на его примере можно научиться программировать контроллер под эти нужды, что даст еще большее понимание процесса его функционирования. На основе данной принципиальной схемы, используя необходимые датчики, можно создать прототип реальной системы для воздушного судна, с возможностью установки на летательные аппараты любого назначения.

#### Библиографический список

1. Теория авиационных двигателей / Под ред. Ю. Н. Нечаева. Ч. 1. М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 2006. С. 6–30.
2. Нихамкин М. А., Зальцман М. М. Конструкция основных узлов двигателя ПС-90А. 2-е изд., испр. и доп. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2002. 108 с.
3. Сайт производителя авиационных масел НефтеХим. URL: <http://www.neft-him.ru/> (дата обращения: 25.03.2019).
4. Документация на микроконтроллер Arduino Mega 2560 DATASHEET Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V.
5. Сайт магазин RoboParts. URL: <http://robo-parts.ru/> (дата обращения: 08.04.2019).
6. Сайт Arduino DIY. URL: <http://arduino-diy.com/> (дата обращения: 08.04.2019).

## Аэрокосмические компьютерные и программные системы

УДК 004.7

**К. И. Алексеева**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Л. И. Курбанов**

инженер института ВКиСТ

**Е. А. Суворова** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**НАИХУДШАЯ ЗАДЕРЖКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕРЫВАНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЙ  
В БОРТОВЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ SPACEWIRE**

Для стабильной работы бортовой вычислительной сети необходимо обеспечивать синхронизацию всех устройств в сети по единому времени и своевременное извещение о критически важных событиях. Синхронизация достигается с помощью использования тайм-кодов, а извещение о событиях реализуется с помощью передачи прерываний и их подтверждений. Проектировщику важно знать, сколько времени требуется на передачу прерываний и подтверждений. Если фактическая задержка на передачу прерываний и подтверждений будет выше ожидаемой, то реакция на события может происходить с запозданием, что может привести к непредсказуемой работе сети.

Все прерывания и подтверждения распространяются по сети широкоэвентельно. Каждый транзитный маршрутизатор исключает повторное распространение копий прерываний и подтверждений. Вследствие этого количество прерываний и подтверждений, проходящих через любой транзитный маршрутизатор в сети одинаково и одинакова максимально возможная длина очереди и, соответственно, время пребывания в очереди для прерываний и подтверждений в каждом транзитном маршрутизаторе [1].

Наихудшая задержка возникает тогда, когда код передается по самому длинному пути и попадает в максимально длинную очередь из более приоритетных кодов.

Наихудшее время распространения кода между двумя наиболее удаленными узлами в сети определяется по формуле из статьи [2]:

$$T_{IPmax} = L_{queue} \cdot T_{cc} + (P_{Len} - 1) \cdot T_{wtc} + P_{Len} \cdot T_{cc} \quad (1)$$

Таблица 1

**Параметры сети**

Обозначение	Пояснение
$T_{cc}$	Время распространения кода по каналу
$T_{wtc}$	Время прохождения кода через маршрутизатора без учета задержки на ожидание передачи предыдущего кода
$L_{queue}$	Наихудший случай длины очереди управляющих кодов
$P_{Len}$	Количество ребер в самом длинном простом пути между самыми удаленными вершинами

Основной проблемой расчета наихудшей задержки прерываний и подтверждений является необходимость сформулировать наихудшее состояние сети, при котором она остается работоспособной. Одним из наихудших состояний может быть выход из строя нескольких маршрутизаторов и линий связи, если это произойдет, то распространение кода до приемника через эти, вышедшие из строя маршрутизаторы и линии связи, будет невозможно. В общем случае можно сказать, что сеть будет работоспособной, если сохранится обмен данными между узлами в сети. Поскольку прерывания и подтверждения распространяются широкоэвентельно, и время передачи зависит от длины маршрута передачи, то для расчета задержки наихудшим случаем будет передача по максимально длинному простому пути. Простым путем назовем путь, все маршрутизаторы которого попарно различны. Нахождение максимально простого пути в теории графов является пр-полной задачей [3].

При эксплуатации космического аппарата в случае выхода из строя какого-либо из компонентов бортовой сети, необходимо сохранить ее работоспособность. Для этого сети проектируются с резервированием, которое в свою очередь определяется коэффициентом отказоустойчивости. Коэффициент задается положительным целочисленным числом  $k$ , которое показывает максимально возможное количество отказов, чтобы сеть оставалась работоспособной.

В сети с коэффициентом отказоустойчивости  $k$  должно существовать  $k$  непересекающихся маршрутов. Зная коэффициент отказоустойчивости можно переформулировать задачу поиска максимально длинного простого пути в задачу поиска максимально длинного пути из  $k$  непересекающихся путей.

Задачу поиска вершинно-непересекающихся путей можно решить с помощью алгоритма Форда – Фалкерсона. Классический алгоритм Форда – Фалкерсона решает задачу о поиске максимального потока в ориентированном взвешенном графе. Если установить всем дугам графа вес равный 1, алгоритм Форда – Фалкерсона найдет значение максимального потока, которое будет соответствовать количеству реберно-непересекающихся путей [4].

Поскольку сеть SpaceWire содержит полнодуплексные физические каналы связи, то такую сеть можно представить в виде неориентированного графа  $G(V, E)$ . Ребра графа – физические каналы. Вершины графа – это терминальные узлы и маршрутизаторы.

Для применения алгоритма необходимо произвести перевод неориентированного графа сети в ориентированный. Чтобы произвести конвертацию исходного графа, представим каждое ребро в виде пары дуг противоположного направления.

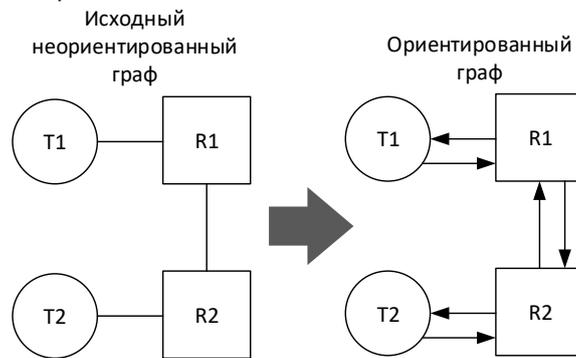


Рис. 1. Преобразование неориентированного графа в ориентированный

Для каждой вершины  $v$ , представляющей маршрутизатор в ориентированном графе, создаем две вершины  $v_1$  и  $v_2$  в модифицированном графе. В вершину  $v_1$  будут входить все входные дуги вершины  $v$ , а из вершины  $v_2$  будут выходить все исходящие дуги вершины  $v$ . Между вершинами  $v_1$  и  $v_2$  существует единственная дуга, которая выходит из вершины  $v_1$  и входит в вершину  $v_2$ . После этого для нахождения количества вершинно-непересекающихся путей в исходном графе будем искать количество реберно-непересекающихся в модифицированном графе.

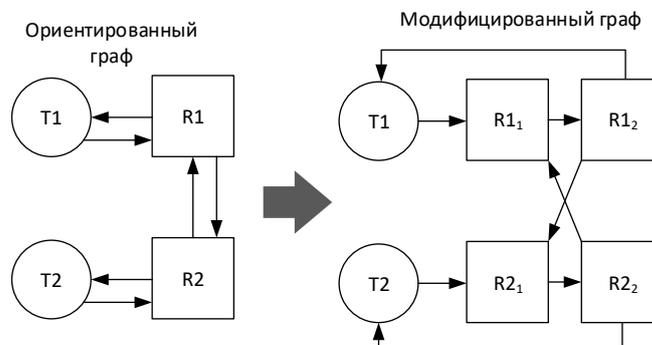


Рис. 2. Создание модифицированного графа с удвоенными вершинами

Значение максимального потока в модифицированном графе по алгоритму Форда – Фалкерсона будет соответствовать максимальному числу вершинно-непересекающихся путей, потому что дуга, соединяющая двойные вершины, является узким местом при поиске максимального потока. Если задать всем дугам вес равный 1, то получим количество реберно-непересекающихся путей. Результат алгоритма зависит от добавленной дуги между двойными вершинами, которая в свою очередь описывает вершину графа, и поэтому можно сказать, что реберно-непересекающиеся пути в этом случае будут равны вершинно-непересекающимся путям в исходном графе. Количество реберно-непересекающихся маршрутов в модифицированном графе совпадает с количеством вершинно-непересекающихся маршрутов в исходном графе.

Входные данные: топология сети, источники, количество кодов прерываний, глобальный для всей сети коэффициент отказоустойчивости

Выходные данные: длина максимального маршрута в соответствии с требуемым коэффициентом отказоустойчивости.

Вычисление длины максимального маршрута происходит по следующему алгоритму:

1. Разделяем каждую вершину – маршрутизатор на две вершины. Используя описанный ранее метод.

2. Для каждой пары источника и приёмника прерываний и подтверждений найдем  $k$  вершинно-непересекающихся маршрутов, используя алгоритм Форда – Фалкерсона. Для каждой пары запоминаем длину самого длинного пути.

После нахождения длины максимального маршрута, начинается вычисление задержек прерываний и подтверждений в соответствии с формулой (1).

В данной статье рассмотрен подход решения задачи расчета наихудшей задержки передачи распределенных прерываний и подтверждений в бортовых вычислительных сетях SpaceWire. Используя информацию о коэффициенте отказоустойчивости можно избежать решения пр-полной задачи поиска самого длинного простого пути в графе. Таким образом, наихудшее работоспособное состояние можно описать с помощью самого длинного из  $k$  вершинно-непересекающихся путей для заданной пары источник – приемник.

### Библиографический список

1. Koblyakova L. V., Gorbachev S. V. Tasks of Hard Real Time Signals in Built-In Systems and Onboard Networks.
2. Koblyakova L., Sheynin Y., Suvorova E. Передача асинхронных сигналов жесткого реального времени во встроенных системах.
3. Cormen T. H. et al. Introduction to Algorithms / Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. MIT Press, 2001. С. 383.
4. Lavrovskaya I., Olenev V., Korobkov I. Fault-tolerance Analysis Algorithm for SpaceWire Onboard Networks // Open Innovations Association (FRUCT). IEEE, 2017. P. 217–223.

УДК 004.056.55

**М. А. Арбузов**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. Ю. Сыщик** – заведующий лабораторией Института ВКиСТ – научный руководитель**КРИПТОГРАФИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

Криптография и шифрование, чаще всего, у пользователя ассоциируются со шпионами, хакерами и прочими людьми, занимающимися незаконной деятельностью. Но что же такое криптография и шифрование на самом деле?

Криптография – это наука о методах обеспечения конфиденциальности (невозможности прочтения информации посторонними лицами), целостности данных (невозможности незаметного изменения информации), аутентификации (проверки подлинности авторства или иных свойств объекта), а также невозможности отказа от авторства.

Шифрование – преобразование информации в целях сокрытия от неавторизованных лиц, с предоставлением, в это же время, авторизованным пользователям доступа к ней.

Иными словами: криптография – это наука о шифровании данных.

Таким образом, можно сделать вывод, что чаще всего представление о криптографии и шифровании – ложное, ибо они, наоборот, помогают нам защитить наши передаваемые данные от доступа к ним третьих лиц, либо возможности их подмены.

Видов шифрования существует довольно много, мы же рассмотрим конкретный вид – шифрование/дешифрование на эллиптических кривых.

**Шифрование/дешифрование на эллиптических кривых**

Для начала, что же такое эллиптическая кривая?

В нашем случае эллиптическая кривая – это набор точек, описывающихся уравнением Вейерштрассе (1):

$$y^2 = x^3 + ax + b, \quad (1)$$

где

$$4a^3 + 27b^2 \neq 0 \quad (2)$$

Это (2) необходимо, чтобы исключить особые кривые.

Особенность (сингулярность) – это точка, в которой математический объект (обычно функция) не определён или имеет нерегулярное поведение (например, точка, в которой функция имеет разрыв или недифференцируема).

Теперь, когда мы разобрались с тем, что же такое эллиптическая кривая, рассмотрим самый простой подход к шифрованию/дешифрованию с использованием эллиптических кривых.

Задача состоит в том, чтобы зашифровать сообщение  $M$ , которое может быть представлено в виде точки  $P_m$  на эллиптической кривой с координатами  $(x, y)$ .

В системе шифрования/дешифрования в качестве параметров рассматривается эллиптическая кривая  $E_p(a, b)$  и точка  $G$  на ней. Участник  $B$  выбирает закрытый ключ  $n_B$  и вычисляет открытый ключ  $P_B = n_B \times G$ . Чтобы зашифровать сообщение  $P_m$  используется открытый ключ  $P_B$  получателя  $B$ . Участник  $A$  выбирает случайное целое положительное число  $k$  и вычисляет зашифрованное сообщение  $C_m$ , являющееся точкой на эллиптической кривой (3).

$$C_m = \{k \times G, P_m + k \times P_B\}. \quad (3)$$

Чтобы дешифровать сообщение, участник  $B$  умножает первую координату точки на свой закрытый ключ и вычитает результат из второй координаты (4):

$$P_m + k \times P_B - n_B \times (k \times G) = P_m + k \times (n_B \times G) - n_B \times (k \times G) = P_m. \quad (4)$$

Участник  $A$  зашифровал сообщение  $P_m$  добавлением к нему  $k \times P_B$ . Никто не знает значения  $k$ , поэтому, хотя  $P_B$  и является открытым ключом, никто не знает  $k \times P_B$ . Противнику для восстановления сообщения придется вычислить  $k$ , зная  $G$  и  $k \times G$ . Сделать это будет нелегко.

Получатель также не знает  $k$ , но ему в качестве подсказки посылается  $k \times G$ . Умножив  $k \times G$  на свой закрытый ключ, получатель получит значение, которое было добавлено отправителем к неза-

шифрованному сообщению. Тем самым получатель, не зная  $k$ , но имея свой закрытый ключ, может восстановить незашифрованное сообщение.

Основная проблема такого шифрования – атака «Человек в середине» (Man-in-the-middle). Допустим, злоумышленник может не только перехватывать сообщения, но и заменять их другими, т.е. имеет возможность осуществлять активную атаку. Это вполне возможно в современных сетях передачи данных, например в Интернет, где информация от одного пользователя передается другому через множество промежуточных узлов, не контролируемых этими пользователями. Злоумышленником может быть, например, системный администратор сети. Такой нарушитель может не только перехватывать сообщения пользователей, но изменять, удалять или заменять их своими. Он может выдавать себя за одного из участников сеанса связи. Вот как может производиться атака "man-in-the-middle":

- Пользователь Б посылает пользователю А свой открытый ключ  $P_B$ . Противник перехватывает этот ключ, сохраняет его и заменяет его своим открытым ключом  $P_n$ .
- Пользователь А шифрует свое сообщение  $M$  полученным открытым ключом  $P_n$ , предполагая, что использует открытый ключ абонента Б, и пересылает зашифрованное сообщение пользователю Б.
- Злоумышленник перехватывает это сообщение, расшифровывает его своим закрытым ключом  $p_n$ , читает или меняет, а затем зашифровывает открытым ключом пользователя Б и посылает пользователю Б.
- Аналогично взломщик перехватит и открытый ключ пользователя А, чтобы читать ответы пользователя Б. В результате нарушитель сможет читать (а, возможно, и изменять) всю корреспонденцию абонентов. Пользователи А и Б, скорее всего, ничего не заподозрят, так как у них нет способа проверить, действительно ли они общаются друг с другом.

### Варианты атак

#### 1. Алгоритм Полига – Хеллмана.

Алгоритм решения дискретного логарифма. Предположим, что  $n$  – количество точек эллиптической кривой. Пусть число  $n$  раскладывается на простые числа  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Суть метода сводится к тому, чтобы найти дискретные логарифмы по модулю числу  $p_i$ , а затем получить общее решение с помощью китайской теоремы об остатках (несколько связанных утверждений о решении линейной системы сравнений). Атака позволяет свести проблему дискретного логарифма в большом поле  $n$  к той же задаче, но с гораздо меньшим полем  $p$ . Для того чтобы противостоять атаке необходимо просто выбирать кривые, количество точек которых делится на очень большое простое число  $q \approx n$ .

#### 2. Алгоритм Шенкса

Алгоритм Шенкса, более известный как шаги младенца/шаги гиганта. Типичный пример time memory trade off. Для группы размером  $n$  вычисляется таблиц размер  $n^{1/2}$ , затем по этой таблице происходит поиск нужного элемента. Сложность алгоритма  $O(\sqrt{q})$ .

#### 3. Уязвимость сингулярных и суперсингулярных кривых.

Особые свойства таких кривых позволяют свести задачу дискретного логарифма на эллиптической кривой, к задаче дискретного логарифма в конечном поле. Соответственно для такого класса кривых стандартные ключи размером в 160–320 бит, будут фатально уязвимы, что позволит злоумышленникам вскрыть секретный ключ, за относительно небольшое время.

#### 4. Уязвимость аномальных кривых.

Напомню, что количество точек эллиптической кривой вычисляется по формуле  $n = q + 1 - t$ , где  $q$  – размер исходного поля. И что кривая называется суперсингулярной если  $t$  делится на 2. Поэтому, на первый взгляд может показаться хорошей идеей использовать кривые в которых количество точек равно  $q$ , т.е.  $t=1$ .

Однако такие кривые называются аномальными и решение дискретного логарифма на аномальных эллиптических кривых является еще более простой задачей, чем для суперсингулярных и сингулярных кривых.

### Библиографический список

1. Болотов А. А., Гашков С. Б., Фролов А. Б. Элементарное введение в эллиптическую криптографию. Протоколы криптографии на эллиптических кривых. М.: КомКнига, 2006. 280 с.
2. Ефименко В. Криптографические алгоритмы с открытым ключом и их использование. URL: [https://www.intuit.ru/studies/professional\\_skill\\_improvements/1694/courses/547/lecture/12391?page=4](https://www.intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/1694/courses/547/lecture/12391?page=4) (дата обращения: 24.03.2019).
3. Лапоница О. Криптография с использованием эллиптических кривых. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/28/28/lecture/20430?page=2> (дата обращения: 26.03.2019).

УДК 004.7

**Д. А. Богданов**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Ф. А. Таубин** – профессор, доктор технических наук – научный руководитель

### ОБЗОР СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА NS-3 И РАБОТА В WI-FI СЕТЯХ

Одной из самых важных и серьезных проблем в исследованиях беспроводных сетей является высокая стоимость специализированного оборудования. Поэтому были созданы программные продукты, позволяющие выполнять имитационное моделирование любых беспроводных сетей.

На сегодняшний день известно достаточно много сетевых симуляторов. Одними из популярных продуктов являются OPNET, OMNET, OMNET++, NS-2, NS-3, GloMoSim, QualNet, J-Sim и другие. Так же существуют узкоспециализированные симуляторы, созданные лишь для моделирования определённого оборудования [1].

NS-3 является дискретно-событийным сетевым симулятором с открытым кодом и свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2, и ориентирован на исследовательское применение, а также применение в образовательных целях.

NS-3 создан, чтобы заменить собой существующий популярный NS-2. Основное отличие между NS-2 и NS-3 состоит в том, что они имеют различные ядра (C++ и Python). NS-3 предоставляет возможность трассировки и сбора статистики для изменения моделей без необходимости перекомпиляции ядра моделирования [1].

NS-3 симулятор является очень гибким и в то же время мощным средством моделирования за счёт использования C++ в качестве встроенного языка описания моделей. Так же, помимо C++, может использоваться Python [2].

Рассмотрим устройство сетевого симулятора NS-3 более подробно. На рис. 1. приведено расположение различных компонентов сетевого симулятора NS-3 и их содержание [3].

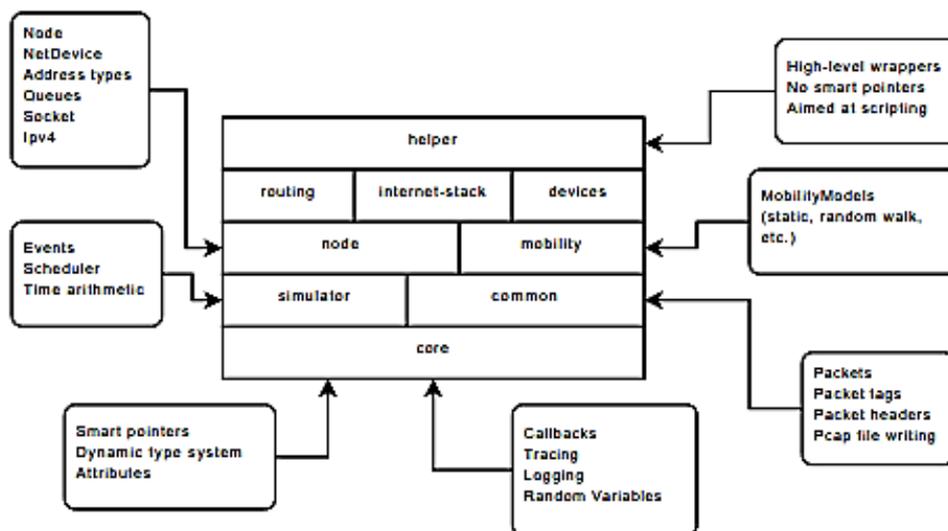


Рис. 1. Расположение компонентов симулятора NS-3

На рис. ниже показана базовая архитектура симулятора NS-3. Она выглядит как стек IP-архитектуры [3]. На рис. 2 изображена архитектура NS-3.

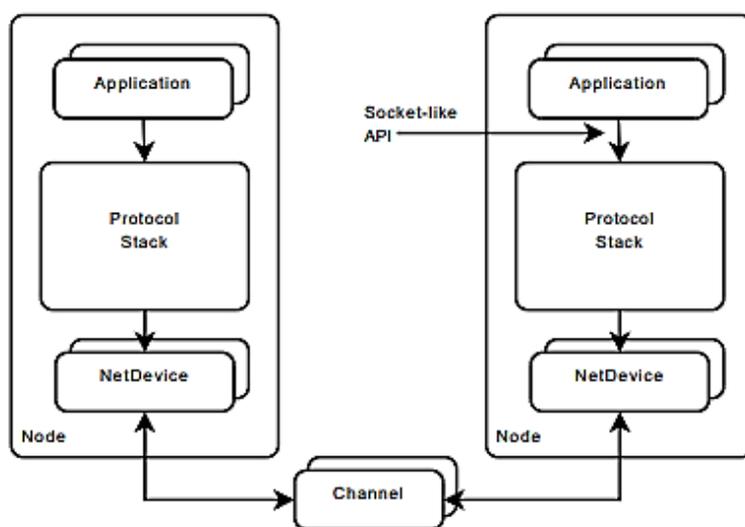


Рис. 2. Архитектура NS-3

Данная архитектура состоит из следующих элементов [3]:

- Node (узел) – это узел, который имеет определенные функции, например: приложения, стеки протоколов и интерфейсы ввода-вывода и другие. Примеры таких узлов – это сотовые телефоны, принтеры, маршрутизаторы Wi-Fi и прочее;
- Application (приложение) – такие приложения, которые запускаются на узлах для выполнения определенных задач.
- Channel (канал) – это специальная среда, по которой данные передаются между узлами;
- NetDevice (сетевые устройства) – это устройства, которые подобны сетевым интерфейсным платам (NIC), которые могут быть подключены к интерфейсам узла ввода-вывода, чтобы дать возможность узлу взаимодействовать с другими узлами в моделировании через каналы;
- Socket (сокет) – это специальный интерфейс между приложением и стеком протоколов;
- Protocol Stack (стек протоколов) – это специально организованный набор сетевых протоколов, которого достаточно для организации взаимодействия узлов в сети.

Данный симулятор не имеет собственного графического интерфейса, но для средств визуализации используются такие проекты, как NetAnimator и PyViz [3].

На сегодняшний день существует огромное множество беспроводных технологий, наиболее часто используемые, такие как: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth. Каждая технология обладает своими определенными характеристиками, которые определяются её основной областью применения. Для примера работы с симулятором NS-3 будем использовать технологию Wi-Fi [4].

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – это беспроводная технология локальной сети на основе стандартов IEEE 802.11. На данный момент существует много стандартов IEEE 802.11.x, такие как: IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n и другие. Каждый из этих стандартов имеет свои определенные характеристики и области применения [5].

В качестве примера работы с Wi-Fi сетями в симуляторе NS-3 с использованием графического интерфейса NetAnim будем использовать созданный скрипт. Данный скрипт моделирует работу сети, состоящей из 20 Wi-Fi устройств, которые осуществляют мобильность в рамках заданных координат. Примеры работы приведены на рис. 3. и 4.

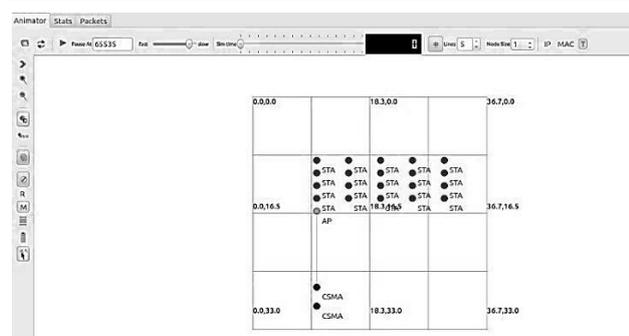


Рис. 3. Сеть до начала симуляции

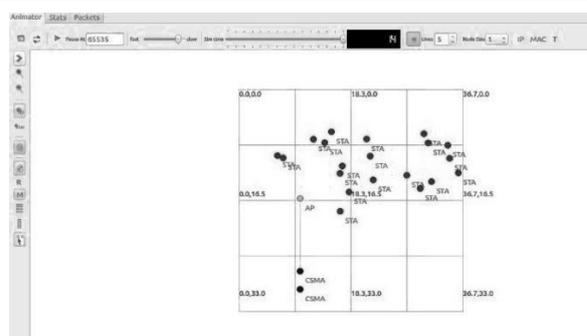


Рис. 4. Сеть при завершении симуляции

Подводя итог можно сделать вывод, что сетевые технологии очень важны для современного мира, и большую часть из них занимают сети Wi-Fi, которые нужно активно изучать. Для всего этого существуют различные сетевые симуляторы, рассмотренный нами NS-3 имеет ряд существенных достоинств: NS-3 является бесплатным свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2, в отличие от своих конкурентов, которые в большинстве случаев платные; Позволяет создавать собственные модели любой сложности или использовать уже готовые; Имеет несколько сторонних реализованных графических интерфейсов, которые упрощают работу с сетями.

Но, также данный сетевой симулятор имеет и некоторые недостатки: имеет очень сложную установку и настройку для работы с сетями; отсутствие собственного графического интерфейса, хотя и есть сторонние аналоги.

### Библиографический список

1. NS-3 (Network Simulator). URL: <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3> (дата обращения: 17.03.2019)
2. Балашов В. Обзор сетевого симулятора NS-3. URL: [https://mirror.yandex.ru/mirrors/ftp.linux.kiev.ua/conference/peers/lvee/2010/LVEE\\_2010\\_31.pdf](https://mirror.yandex.ru/mirrors/ftp.linux.kiev.ua/conference/peers/lvee/2010/LVEE_2010_31.pdf) (дата обращения: 16.03.2019).
3. Riley G. Network Simulation with NS-3. Georgia Institute of Technology, Naval Postgraduate School July, 2010. P. 13–43.
4. The History of WiFi: 1971 to Today. URL: <https://www.cablefree.net/wireless-technology/history-of-wifi-technology> (дата обращения: 16.03.2019).
5. Топологии сетей WiFi. URL: <https://www.cablefree.net/wireless-technology/history-of-wifi-technology> (дата обращения: 16.03.2019).

УДК 004.93

**А. О. Булыгин**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Р. Луцив** – профессор, доктор технических наук – научный руководитель

### ПСЕВДОТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЦЕН НА ДИСПЛЕЕ СМАРТФОНА

При серийном производстве смартфонов одновременно с расширением функциональных возможностей играет важную роль ограничение стоимости устройств в соответствии с требованиями рынка. В связи с этим в смартфонах экономичной рыночной категории не применяются дорогие трёхмерные дисплеи, хотя на рынке они существуют. В то же время остаётся актуальным сохранение у пользователя впечатления, что он может наблюдать на двумерном экране трёхмерное отображение сцены.

В настоящей статье исследуется один из возможных вариантов решения этой проблемы, – создание у пользователя впечатления, что экран смартфона является окном в трёхмерный мир и изменение позиции наблюдателя относительно экрана позволяет взглянуть через такое «окно» на трёхмерную сцену с другого ракурса.

Для этого можно с помощью веб-камеры смартфона следить за положением лица наблюдателя относительно экрана и поворачивать отображаемую трёхмерную сцену в соответствии с изменяемым ракурсом наблюдения.

Слежение за лицом пользователя выполняется в 2 этапа. На первом этапе введенное с веб-камеры изображение анализируется с целью обнаружения в кадре лица пользователя. На втором этапе выполняется слежение за положением найденного лица.

Алгоритм Виолы – Джонса является одним из лучших по соотношению показателей эффективности распознавания/скорость работы, и предоставляет большие возможности в смартфонах средней ценовой категории. Также этот детектор обладает крайне низкой вероятностью ложного обнаружения лица.

Этап слежения необходим, так как алгоритм Виолы – Джонса остаётся вычислительно затратным для реализации на смартфонах. Поэтому обнаружение лица необходимо выполнять раз в несколько кадров, а в промежуточных кадрах выполнять этап слежения за положением найденного лица.

Алгоритм Виолы – Джонса является основополагающим для поиска объектов на изображении в реальном времени. Данный метод основан на следующих принципах:

- используются изображения в интегральном представлении, что позволяет вычислять быстро необходимые объекты;
- используются признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта (в данном контексте, лица и его черт);
- используется бустинг (от англ. boost – улучшение, усиление) для выбора наиболее подходящих признаков для искомого объекта на данной части изображения;
- используются каскады признаков для быстрого отбрасывания окон, где не найдено лицо.

Данный метод в общем виде ищет лица и черты лица по общему принципу сканирующего окна. Поиск лица осуществляется в окнах разного масштаба сканирующих изображения, что гарантирует инвариантность работы алгоритма к масштабированию изображения.

Для обучения алгоритму требуется много положительных примеров изображений лиц и отрицательных примеров изображений без лиц. Для извлечения характерных деталей изображения используются признаки Хаара, показанные на рис. 1. Каждый признак вычисляется путем вычитания суммы пикселей под белым прямоугольником из суммы пикселей под черным прямоугольником.

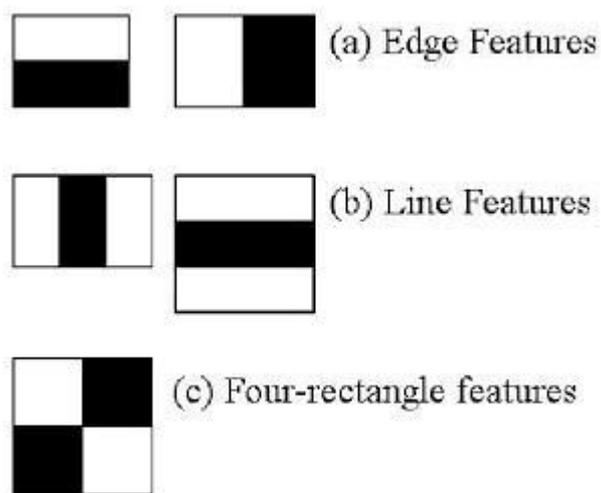


Рис. 1. Признаки Хаара

Алгоритм Виолы – Джонса реализован в библиотеке компьютерного зрения Intel OpenCV. OpenCV (Open Source Computer Vision) – это библиотека функций программирования, в основном ориентированная на реализацию алгоритмов компьютерного зрения в реальном времени. Библиотека является межплатформенной и бесплатной для использования в рамках лицензии BSD с открытым исходным кодом.

В настоящей статье рассматривается способ слежения за лицом используя особенности цвета кожи. Так как цвет – свойство низкого уровня, то его обработка вычислительно недорога. Но существуют недостатки: появление цветов чувствительных к изменениям освещенности, тени, взаимные отражения, а также недостатки связанные с особенностями камеры. Для уменьшения зависимости от освещенности используем гистограмму цветов кожи в качестве исходной непараметрической цветовой модели кожи. Модель обновляется для каждого кадра, используя пиксели кожи в локализованном изображении лица. Гистограмма обновляется только пикселями, принадлежащими коже, которые находятся в ограничительной рамке, найденной обнаруживающим алгоритмом.

Предполагается, что частота кадров камеры достаточно высока по сравнению с темпом изменения цвета кожи, так что гистограммой цвета кожи из предыдущего кадра еще можно адекватно описать цвет кожи в следующем кадре. Отслеживающий алгоритм сначала инициализируется путем определения области лица в сцене. Пиксели обнаруженного лица, относящиеся к цвету кожи используются для получения исходной гистограммы цвета кожи. Гистограмма цвета кожи обновляется из пикселей в ограничивающем прямоугольнике, который удовлетворяет критериям местоположения кожи. Затем берется на анализ следующий кадр.

Была написана программа на языке C++ для обнаружения лиц на фотографии с использованием библиотеки компьютерного зрения Intel OpenCV.

В программе был использован XML классификатор для обнаружения лиц `haarcascade_frontalface_alt.xml`, который использует примитивы Хаара как в методе Виолы – Джонса. Выполнены следующие операции:

- Загружено входное изображение для поиска лиц. Затем изображение было переведено в оттенки серого.
- От классификатора получена позицию обнаруженного в кадре лица
- По полученным координатам найден центр лица и выделена область лица
- Результат выведен на экран (см. рис. 2).



*Рис. 2. Результат работы программы*

В данной работе был изучен способ обнаружения лиц на основе алгоритма Виолы – Джонса. Были рассмотрены имеющиеся способы детектирования лиц, на основе которых были оценены возможности для реализации алгоритма.

В результате был выведен алгоритм на основе метода Виолы – Джонса, по которому было разработано консольное приложение для тестирования возможности обнаружения лиц на изображении.

При разработке был использован XML классификатор для обнаружения лиц `haarcascade_frontalface_alt.xml`, который использует примитивы Хаара как и в методе Виолы – Джонса.

Реализация алгоритма слежения за лицом в кадре и модификация отображаемой трехмерной сцены в связи с ракурсом её наблюдения пользователем будут выполнены на последующих стадиях исследования.

#### **Библиографический список**

1. Viola P., Jones M. J. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001.
2. Lienhart R., Maydt J. An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection.
3. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV, 2008. 556 p.

УДК 004.93'1:004.932.2

**И. Д. Василенко**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В.Р. Луцив** – профессор, доктор технических наук – научный руководитель**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛА И ВОЗРАСТА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ**

В последнее время достаточно актуальна тема биометрического сканирования с целью определения пола и возраста – например, в США оно используется в аэропортах для выявления лиц мужского пола в возрасте от 15 до 60 лет, так как от них наиболее вероятно может поступить угроза.

В данной статье рассматриваются проблемы, возникающие при разработке системы автоматического распознавания пола и возраста на текущий момент. Первоочередное требование, которому должна удовлетворять подобного рода система – возможность определить, присутствует ли на изображении лицо. В связи с этим приводится анализ существующих (и находящихся в открытом доступе) методов обнаружения лица на изображении, исследуются характеристики их производительности, и оценивается их способность к обнаружению лиц.

Во второй части статьи рассматриваются варианты возможного на текущий момент решения следующей задачи – определения пола и возраста лица, найденного на изображении.

Для анализа задач, описанных выше, использовалась база данных [1]. В работе [2] составители базы утверждают, что она является наиболее крупной среди баз с существующими метаданными о лицах на изображениях, содержащихся в ней. Её недостаток состоит в том, что она составлена из изображений, собранных из открытых источников автоматически, в связи с чем в ней присутствует элемент погрешности в виде изображений, не являющихся фотографиями реального мира (рис. 1.).

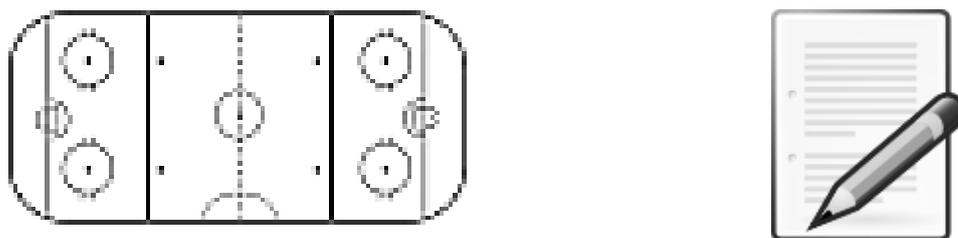


Рис. 1. Примеры ошибочных изображений в базе данных

Из доступных средств для автоматической обработки изображений следует выделить библиотеки [3] и [4], так как они являются открытыми и реализуют несколько алгоритмов распознавания лиц. Из этих алгоритмов стоит выделить HoG и MMOD в библиотеке dlib, и SSD и Viola – Jones в opencv.

Стоит отметить так же, что MMOD и SSD являются методами, основанными на использовании нейросетей.

Для сравнения и оценивания эффективности данных методов использовались метрики: скорость обработки изображения алгоритмом, количество памяти, затраченной на обработку одного изображения, процент верно найденных лиц. Так же считалась функция потерь:

$$loss = \frac{1}{4n} \sum_n \sum_4^{j=1} |x_{ij} - x'_{ij}|,$$

где  $x$  – координата  $i$  рамки лица, имеющейся в метаданных изображения  $j$ ,  $x'$  – координата рамки, найденной алгоритмом для изображения  $j$ .

Для проведения benchmark и profiling тестов, а также для вычисления функции потерь и процента успеха, для названных алгоритмов были созданы программные фреймворки. Результаты тестирования приведены ниже.

Выполним небольшое сравнение алгоритмов SSD, MMOD, Viola – Jones и HoG:

- SSD – Single-Shot-Multibox detector – алгоритм, основанный на использовании тренированной нейросети. На выходе он имеет вектор вероятностей, с каждым элементом которого ассоциируются координаты всех возможных рамок лица. Для всех значений данного вектора нужно было выбрать некоторое пороговое значение; все значения, прошедшие пороговое отсечение, необходимо сравнить

между собой – наибольшее среди них будет опознано как лицо, а значения, отстающие от наибольшего на следующую пороговую величину также должны быть определены использующей алгоритм программой как лица. Опытным путём первый порог был установлен в 0.4, второй – 0.0001.

- MMOD. Данный алгоритм так же является примером использования предварительно обученной нейросети. Однако его реализация в библиотеке dlib является полностью закрытой, и его оптимизация не представляется возможной как в случае с SSD. В реализации библиотеки dlib является наиболее ресурсоёмким алгоритмом.

- Viola – Jones. Отличительной особенностью данного алгоритма является то, что он достаточно часто обнаруживает два лица на месте одного – при этом координаты второго лица находятся достаточно близко к первому (рис. 2.). Данная ошибка была оптимизирована путем подсчета процентной разницы и установкой порога для полученных значений в координатах всех найденных лицевых рамок.

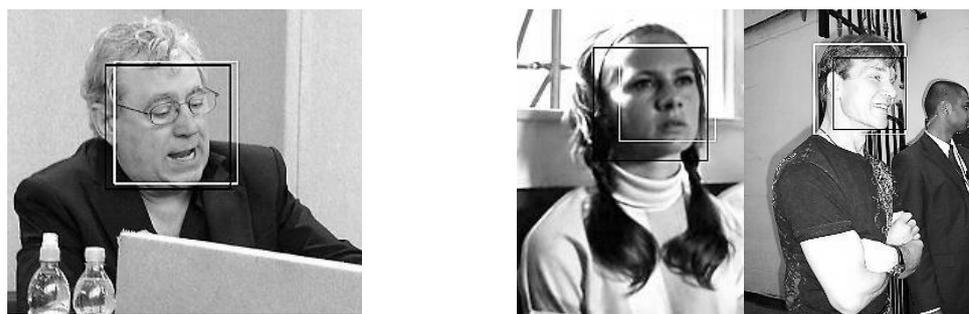


Рис. 2. Примеры ложного предсказания количества лиц на изображении метода Viola – Jones

- HoG. Реализация данного алгоритма так же является закрытой в библиотеке dlib, и его оптимизация не представляется возможной.

Выполним анализ значений метрик. Как следует из таблицы, исходя из процента успеха и требуемых затрат ресурсов, наиболее приемлемым представляется использование алгоритма SSD.

Таблица

**Результаты сопоставления методов обнаружения лиц**

Алгоритм	Память, МВ	Время, sec	Success, %	Loss
SSD	135.5	0.17	91.6	96.23
MMOD	115.7	0.64	70.7	48.62
Viola – Jones	87.8	0.09	65.5	70.42
HoG	81.3	0.35	63.9	53.63

Отдельной задачей стоит определение пола и возраста по изображению. Данная тема на сегодняшний момент исследована гораздо менее широко, в отличие от задачи обнаружения лиц. Тем не менее, в открытых источниках можно найти архитектуры для определения пола и возраста, основанные соответственно на работах [2] и [5]. В них авторы используют отдельные нейронные сети для определения пола и возраста.

Так как обе работы датируются 2015 годом, имеет смысл пройти тем же путём, но использовать при этом архитектуры сетей-победителей соревнования ImageNet последних лет – например, SENet, победитель 2017 года [6].

Получившуюся в результате модель, как и готовые решения нужно исследовать так же, как и алгоритмы для определения лиц – с точки зрения процента успешно классифицированных примеров, и требуемых ресурсов.

**Библиографический список**

1. Rothe R., Timofte R., Gool L. V. IMDB-WIKI – 500k+ Face Images with Age and Gender Labels. URL: <https://data.vision.ee.ethz.ch/cvl/rrothe/imdb-wiki> (дата обращения 15.03.2019).
2. Rothe R., Timofte R., Gool L. V. DEX: Deep EXpectation of Apparent Age from a Single Image // Computer Vision Lab, D-ITET. P. 2.
3. Open Source Computer Vision Library. URL: (дата обращения 15.03.2019).
4. Modern C++ Toolkit Containing Machine Learning Algorithms. URL: <http://dlib.net> (дата обращения 15.03.2019).
5. Levi G., Hassner T. Age and Gender Classification Using Convolutional Neural Networks // The Open University of Israel. P. 2.
6. Hu J. et al. Squeeze-and-Excitation Networks / Jie Hu, Li Shen, Samuel Albanie, Gang Sun, Enhua Wu.

УДК 004.031.6

**А. О. Волк**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. А. Иванова** – научный руководитель

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ С ТРЁХМЕРНОЙ ГРАФИКОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

В мире все большее распространение получают встраиваемые системы. Они отличаются повышенной надёжностью, чаще всего работают в реальном времени и производят необходимые вычисления за строго определённый временной интервал. Также встраиваемые системы работают в условиях ограничения потребляемой энергии, поскольку они, как правило, проектируются как устройства с автономным питанием. При разработке приложений с трёхмерной графикой для встраиваемых систем необходимо учитывать эти особенности.

Визуализация трёхмерных объектов требует значительных вычислительных затрат: необходимо проводить вычисления над большими массивами данных, которые описывают состояние объекта в каждый момент времени. Для обработки этих данных целесообразно использовать технологии параллельного вычисления с использованием графического процессора (GPU) вместо центрального процессора (CPU). GPU умеет быстро выполнять параллельные вычисления над большими массивами данных за счёт наличия большого количества вычислительных ядер [1].

Для вычислений, не связанных с графикой, существуют библиотеки CUBA, OpenCL. Однако графических API с поддержкой рендеринга на GPU не так много. Самые популярные – OpenGL, OpenGL ES и Vulkan, они позволяют разработчикам создавать шейдеры – алгоритмы параллельных вычислений на GPU.

Vulkan – это новый API, представленный компанией Khronos Group как «новое поколение OpenGL». Vulkan поддерживается оборудованием, которое в настоящее время поддерживает OpenGL ES 3.1 и более высокие версии [2]. Однако большинство современных встраиваемых систем поддерживают только OpenGL ES 2.0. Таким образом, OpenGL на данный момент является наиболее широко распространённым интерфейсом для рендеринга продвинутой 3D графики, а OpenGL ES остается основной графической библиотекой для встраиваемых систем.

### Зачем был создан OpenGL ES

OpenGL отличается сложностью и большим объёмом кода для реализации даже самых простых задач. OpenGL ES – это подмножество OpenGL без избыточности: в случае, когда одна и та же операция может быть выполнена более, чем одним способом, осуществляется выбор в пользу наиболее эффективного. Например, в OpenGL ES для создания геометрии используются только вершинные массивы, непосредственный режим (`glBegin()` и `glEnd()` для рисования примитивов) и дисплейные списки были удалены. OpenGL ES вводит серьезные изменения в GL SL (OpenGL Shading Language – язык написания шейдеров) для уменьшения потребления энергии и увеличения быстродействия шейдеров.

### Конвейер OpenGL ES на примере программы «Авиагоризонт»

#### Контекст

Команды OpenGL абстрактны и не привязаны к какому-то конкретному устройству. Поэтому, чтобы они отправлялись на GPU, нужно создать контекст. Для создания контекста (в том числе безоконного) можно воспользоваться библиотекой EGL. EGL API предоставляет собой механизм для взаимодействия с оконной системой устройства. Из-за различий между разными оконными системами, EGL имеет прозрачный тип `EGLdisplay`, который хранит внутри себя все зависимости для взаимодействия с оконной системой [4].

#### Загрузка данных в память GPU

Области памяти GPU называются *буферами*. Обычно в память записываются массивы вершин примитивов (точка, отрезок, треугольник), из которых строятся трёхмерные объекты, и текстуры (плос-

кие изображения, которые «натягиваются» на трёхмерные объекты). Вершины задают форму, а текстуры – окраску и рисунок.

Например, в программе «Авиагоризонт» (рис. 1) массив вершин для отображения шкалы с делениями – это координаты точек прямоугольника, на который будет наложена текстура, а само изображение шкалы – текстура в растровом графическом формате.

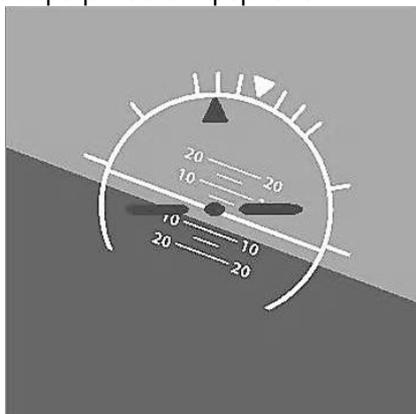


Рис. 1. Работа программы «Авиагоризонт»

### Шейдеры и программы

Шейдеры – специальные подпрограммы, написанные на GL SL. Драйвер видеокарты умеет компилировать шейдеры и загружать их в GPU. Программа – это контейнер, к которому прикрепляются шейдеры (один вершинный и один фрагментный). С помощью программ выполняется рендеринг сцены, причем программ может быть несколько.

Шейдеры применяются к элементам массивов (текстур) независимо и параллельно. В идеале время обработки всей сцены будет равно времени обработки одного ее элемента (например, одного фрагмента в фрагментном шейдере), но в процессе реальной разработки возникает необходимость обрабатывать разные части сцены разными программами с разными прикрепленными к ней шейдерами.

Например, в программе «Авиагоризонт» используются два разных объекта-программы. Одна предназначена для изображения фоновых элементов (цветных прямоугольников), а другая – для изображения объектов, на которые необходимо наложить текстуры (шкала, указатель).

Вершинный шейдер обрабатывает независимо и параллельно каждую вершину из вершинного массива. Результат его работы – математическое описание примитивов: каждый примитив задан в векторном виде – то есть определяется координатами в пространстве. Чаще всего в вершинном шейдере происходит преобразование координат, расчет освещения в вершине, получение преобразованных текстурных координат. Одной из важнейших задач вершинного шейдера является преобразование объектных координат в координаты наблюдателя, а затем в координаты отсечения при помощи матрицы (произведение мировой (model), видовой (view) и проекционной (projection) матриц).

После сборки примитивов наступает стадия растеризации – подготовка двумерных фрагментов. Фрагмент хранит информацию о цвете, об альфа-канале, о координатах элемента изображения и многое другое. Можно считать, что фрагмент – это данные, необходимые для генерации пикселя. Фрагментный шейдер реализует программную обработку фрагментов (независимо и параллельно). Шейдер задает операции, которые необходимо выполнить над фрагментами – наложение цветов, глубины.

Например, для того, чтобы изобразить красную стрелку-указатель, необходимо отрисовать только красные пиксели изображения, отбросив черный фон. Во фрагментном шейдере для каждого пикселя проверяется значение красной компоненты его цвета, и если она меньше, чем, например, 255, то пиксель не допускается к отрисовке.

Фрагмент проходит тесты пофрагментных операций. После чего результаты вычислений всей сцены записываются во фрейм-буфер. OpenGL ES поддерживает 3 типа буферов: буфер цвета, глубины и трафарета. В OpenGL ES используется двойная буферизация – весь рендеринг происходит в скрытый буфер. Когда рендеринг завершен, основной и скрытый буфер меняются местами [3].

После каждой команды отрисовки примитивов конвейер заново проходит весь цикл вычислений.

### Заключение

В ходе исследовательской работы был создан проект «Авиагоризонт» – пример использования OpenGL ES 2.0 в программировании для встраиваемых систем. На основе этого проекта были рассмотрены основные особенности OpenGL ES API. Пример работы программы «Авиагоризонт» на встраиваемой системе Raspberry Pi 3 приведен на рис. 2.

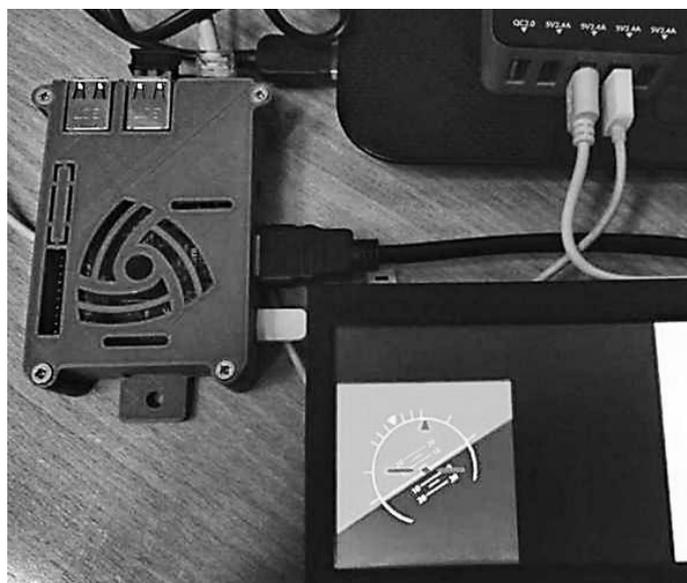


Рис. 2. Работа программы «Авиагоризонт»

Несмотря на то, что OpenGL ES – это сокращение стандарта OpenGL, эта библиотека очень сложна для изучения. Сложность заключается не только в том, что необходимо иметь много базовых знаний компьютерной графики, основных понятий 3D, но и в поиске статей и руководств. И если для OpenGL уже многие годы пишутся хорошие учебники и есть обширное сообщество разработчиков, то по OpenGL ES помимо документации и одного руководства разработчика нет практически ничего.

Однако OpenGL ES позволяет разработчикам писать быстрые и энергоэффективные приложения, которые легче переносить и поддерживать. Поэтому API и стал основной графической библиотекой для встроженных устройств.

### Библиографический список

1. Великодный В. Вычисления на GPU с помощью OpenGL. URL: <https://velikodniy.github.io/2017/08/14/gpgpu-opengles> (дата обращения: 15.03.2019).
2. Khronos Group. Khronos Group Releases Vulkan 1.1. URL: <https://www.khronos.org/news/press/khronos-group-releases-vulkan-1-1> (дата обращения: 25.03.2019).
3. Гинсбург Д., Пурномо Б. OpenGL ES 3.0 Руководство разработчика. ДМК, 2015. 430 с.
4. Bergman E. OpenGL ES 2.0 Tutorial for Android. URL: <https://blog.jayway.com/2013/05/09/opengles-2-0-tutorial-for-android-part-i-getting-started> (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 004.057.4

**А. А. Карандашев**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**И. Я. Лавровская** – научный сотрудник института ВКиСТ – научный руководитель

### СКРЕМБЛИРОВАНИЕ И ПОДСЧЁТ КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC ПРИ МНОГОПОЛОСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В SPACE FIBRE

Протокол SpaceFibre – высокоскоростная технология передачи данных для бортовых применений с передачей по электрическим и оптоволоконным линиям. Разрабатывается для высокоскоростной обработки данных, таких как радар с синтезированной аппаратурой, мультиспектральные системы формирования изображений и т. д. [1].

Особенности протокола:

- высокоскоростная передача данных;
- детерминированная доставка данных;
- поддержание топологии любой сети.

Реализация протокола предполагает 5 основных уровней: Сетевой уровень (Network Layer), Канальный уровень (Data Link Layer), Уровень многополосной передачи данных (Multi-Lane Layer), Уровень линии (Lane Layer), Физический уровень (Physical Layer) [2].

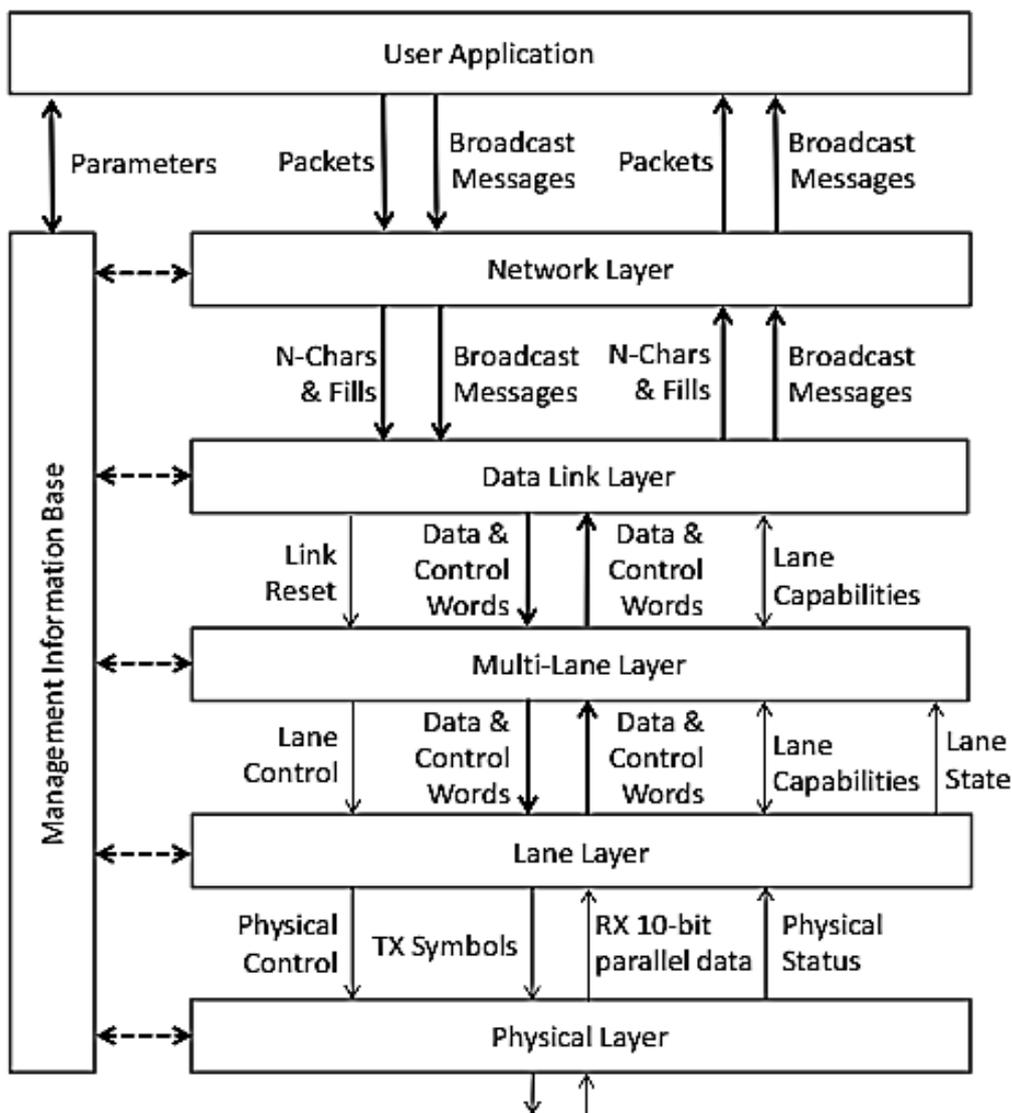


Рис. 1. Стек протоколов SpaceFibre

## Назначение скремблирования и CRC

Скремблирование данных предназначено для уменьшения влияния окружающей среды на передачу данных.

Скремблирование данных происходит с помощью битового умножения данных (XOR), при помощи случайных чисел, которые генерируются на основе скремблирующего полинома:  $G(x) = X^{16} + X^5 + X^4 + X^3 + 1$ .

Контрольная сумма CRC предназначена для гарантии, того что данные были переданы без ошибок. В данном стандарте используются два вида контрольной суммы: CRC8 и CRC16.

- CRC8 считается на основе полинома:  $X^8 + X^2 + X + 1$ ;
- CRC16 считается на основе полинома:  $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$  [3].

### Реализация скремблирования и вычисления CRC при однополосной передаче данных

При однополосной передаче данных спецификация определяет механизмы формирования кадров и управляющих слов для дальнейшей передачи на уровне Data Link. Описание данного функционала распределено на большую часть стандарта. Согласно спецификации:

- CRC охватывает весь кадр данных в канале с одной линией.
- Скремблер должен заново инициализироваться при передаче каждого нового кадра данных.
- При обнаружении ошибок контрольной суммы в кадрах данных, FCT или широковещательных сообщений – они должны отбрасываться [1].

Кроме того, указания по остальной обработке кадров и управляющих слов для дальнейшей передачи, описанные в стандарте, подразумевают реализацию на уровне Data Link.

Необходимо учесть, что скремблирование выполняется после вычисления контрольных сумм CRC8 и CRC16.

Исходя из всего выше перечисленного, на уровне Data Link производится разбиение пакетов на слова для дальнейшей передачи по линии связи. Именно при обработке данных пришедших с уровня Network производится вычисление контрольной суммы (как CRC16, так и CRC8) и скремблирование.

### Описание скремблирования и CRC при многополосной передаче в Multi-Lane Layer

В стандарте указано, что многополосная передача может производиться по нескольким линиям (от 1 до 16).

В спецификации нет чёткого указания, на каком уровне должны быть реализованы скремблирование и вычисление контрольной суммы при многополосной передаче данных. Данные механизмы могут быть реализованы как на уровне Multi-Lane, так и на каждой линии самостоятельно (на уровне Lane). Соответственно, дескремблирование и проверка контрольной суммы на приёмнике должна производиться на аналогичном уровне.

Важно отметить особенности передачи управляющих слов и кадров по нескольким линиям. Скремблирование, как и CRC16 должны производиться для данных в каждой линии связи – отдельно. Однако для всех линий контрольная сумма CRC8, вычисляется одинаково и передаётся одновременно. Это отличие следует учесть при проектировании.

### Варианты реализации

#### *1 Реализация вычислений контрольной суммы и скремблирования на уровне Multi-Lane:*

В связи с отсутствием чётких указаний по реализации рациональным решением может быть вычисление контрольных сумм (CRC8 и CRC16) и выполнение скремблирования в буферах для каждой линии отдельно. Это поможет собрать вместе всю логику, что сделает модель более наглядной и удобной.

Однако, возможно разбиение функционала. Скремблировать и вычислять CRC16 в каждом буфере отдельно, а вычисление CRC8 производить в машине выравнивания, указанной в стандарте. [3]

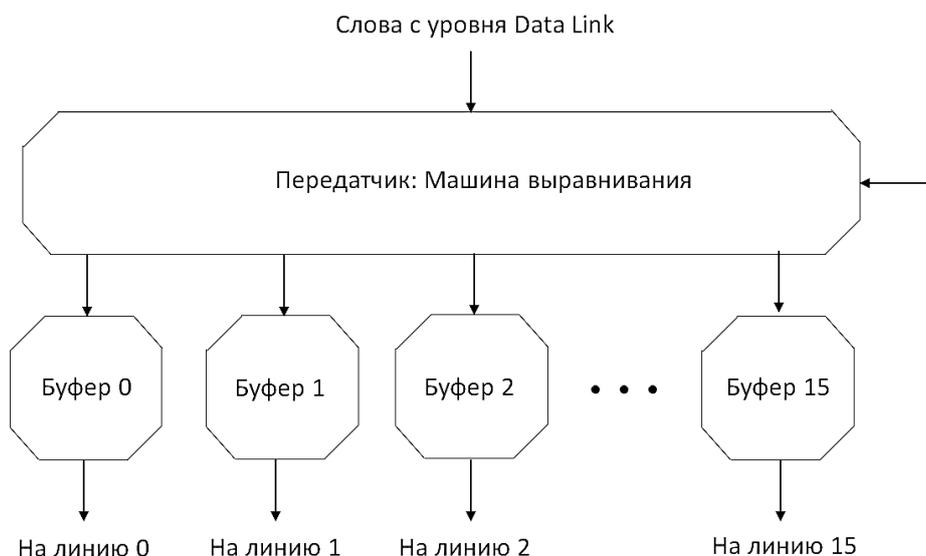


Рис. 2. Передатчик уровня управления линиями

### II Реализация вычислений контрольной суммы и скремблирования на уровне Lane:

В качестве альтернативы можно производить скремблирование и вычисление контрольных сумм (CRC8 и CRC16) на каждой линии в отдельности. Это поможет логически сгруппировать рассматриваемый функционал в одном месте и обеспечит простоту и удобство перехода с одной линии передачи на несколько и обратно. Достаточно будет просто удалить или добавить линии, не изменяя логики остальных механизмов.

Возможно, это усилит нагрузку на каждую линию, но при современном оборудовании она будет незначительна [4].

### Заключение

В статье был проведён краткий обзор протокола SpaceFibre и однополосной передачи данных. Основной проблемой, рассматриваемой в статье, стала реализация скремблирования и вычисления контрольных сумм на уровне Multi-Lane, из-за отсутствия чёткого описания в стандарте.

В качестве возможных решений были рассмотрены два варианта вычисления контрольных сумм и скремблирования:

- 1) Вычисления на уровне Multi-Lane;
- 2) Вычисления на уровне Lane.

Достоинствами вычисления на уровне Multi-Lane являются: Удобное логическое разделение, возможность выбора конкретной реализации на уровне Multi-Lane. Из-за невозможности быстрого перехода от однополосной передачи к многополосной, при реализации, это решение не кажется достаточно эффективным.

Напротив, реализация на уровне Lane убирает существенный недостаток предыдущего решения, не исключая его достоинств.

Исходя из всего выше перечисленного, реализация механизмов скремблирования и подсчёта контрольных сумм (CRC8 и CRC16) следует производить на уровне Lane.

### Библиографический список

1. ECSS-E-ST-50-11C DIR1. 7 марта 2018 года.
2. Таненбаум Э. T18 Компьютерные сети. 4-е изд. СПб.: Питер, 2003. 992 с.
3. Florit A. F., Villafranca A. G., Parkes S. SpaceFibre Multi-lane: SpaceFibre, long paper. International SpaceWire Conference (SpaceWire). IEEE, 2016. P. 1–8.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. 3-е изд. СПб.: Питер, 2008. 547 с.

УДК 654.022

**Я. Р. Миронов, Е. А. Карпова**

студенты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Н. Иванов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Реконфигурируемые системы радиосвязи (RRS) – это общая концепция, основанная на программировании радио доступа и реконфигурировании соответствующей аппаратной платформы.

Радиочастотный спектр является одним из наиболее важных ресурсов, необходимых для радиосвязи, во всем мире его использование жестко регламентировано. Стандартная парадигма, диктующая политику управления использованием спектра, гарантирует его эксклюзивное использование в больших географических районах. Несмотря на то, что данная политика оказалась успешной для радиовещания, телевизионного вещания и мобильных сетей, это привело к тому, что был занят практически весь доступный спектр, а это означает наличие довольно ограниченного диапазона свободных частот для новых появляющихся беспроводных услуг [1]. Дефицит радиочастотного спектра побудил к поиску технологий, способных смягчить данную ситуацию, приспособливающих передачу к текущему использованию сети и изменяющимся условиям окружающей среды. Реконфигурируемое радио является одной из самых перспективных технологий в данной области. Реконфигурация программного обеспечения позволяет адаптировать частоты, схемы модуляции/кодирования и протоколы для повышения эффективности передачи данных.

Концепцию RRS можно применить к спутниковой связи. Она в основном сосредоточена на адаптации системы и связана с внедрением гибкости на уровне спутниковой нагрузки и поддерживают использование интегральных схем специального назначения (ASIC) и перепрограммируемых логических интегральных схем (FPGA). Из-за длительного срока службы (10 – 15 лет) спутники подвергаются риску устаревания в течение этого периода [2]. Желательно было бы обновлять их, чтобы быть совместимыми с наземными новыми технологиями. Использование RRS обеспечивает большую гибкость для новых стандартов и концепций. Например, реконфигурация устройств, генерирующих несколько антенных лучей, позволит создавать необходимое количество лучей с регулируемым размером и положением, либо адаптировать их параметры передачи для приспособления к текущим условиям распространения [3].

Схема реконфигурируемой передачи данных в спутниковых системах связи представлена на рисунке.

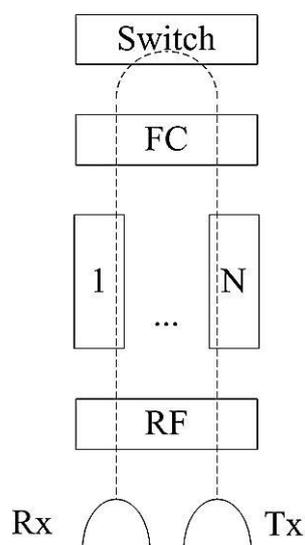


Схема реконфигурируемой передачи данных в спутниковых системах связи: Rx – приемник; Tx – передатчик; RF – модуль для приема/передачи, установка рабочего радиодиапазона частот; FC – контроллер потока данных; Switch – коммутатор

Важной особенностью, которая отличает реконфигурируемую передачу от обычной, является гибкость [1]. Гибкость спектра относится к стратегии обнаружения доступного спектра и способности адаптироваться к передаче в обнаруженном спектре. Гибкость технологии обещает использованию нескольких технологий доступа. Гибкость протоколов связана с применением различных протоколов в зависимости от типов взаимодействующих устройств.

В идеальном реконфигурируемом радио процесс цифровой обработки начинается сразу после антенны (с использованием цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователей с высокой динамикой) и включает в себя применение FPGA с высокой производительностью и различного программного обеспечения для формирования разных сигналов. Аппаратное обеспечение способно идентифицировать программное обеспечение, с которым его просят взаимодействовать [4]. Другими словами, реконфигурируемое радио способно имплементировать новую форму протокола радиосвязи, просто запустив новое программное обеспечение, называемое радиоприложением. На рисунке радиоприложения изображены между модулем приема/передачи (RF) и контроллером потока данных (FC). Таким образом, система реконфигурируемой радиосвязи способна изменить себя соответствующим образом для определенной среды и может быть легко и быстро обновлена по беспроводной сети. Очевидным преимуществом здесь является то, что система может быть обновлена путем установки прикладного программного обеспечения без каких-либо дополнительных манипуляций с оборудованием.

Потенциальные достоинства RRS в спутниковых сетях связи:

- бортовой процессор не зависит от конкретного физического уровня;
- виртуальная прозрачность спутниковых интерфейсов;
- возможность внедрения новых сервисов;
- возможность обновления программного обеспечения полезной нагрузки для использования современных алгоритмов обработки сигналов.

Технологии не стоят на месте, а реконфигурируемые системы радиосвязи (RRS) вписываются в общую тенденцию перехода на более пластичные и экономичные системы спутниковой связи. Внедрение бортовых спутников с технологией реконфигурируемого радио может стать ответом на потребность в гибких полезных нагрузках в течение продолжительного срока службы спутника.

### Библиографический список

1. Biglieri E. et al. Principles of Cognitive Radio / Biglieri E., Goldsmith A., Greenstein L. J., Mandayam N., and Poor H. V. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
2. Perlaza S. M., Hoyos E. A., and Vera P. V. Reconfigurable Satellite Payload Model Based on Software Radio Technologies. 3rd IEEE International Congress of the Andean Region (ANDESCON 2006), Quito, Ecuador, September 2006.
3. Bayhan S., Gur G., and Alagoz F. Satellite Assisted Spectrum Agility Concept. IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2007). Orlando, FL, October 29–31, 2007. P. 1–7.
4. Giuliani R., Baldini G., Symeonidis D. Reconfigurable Radio System Test Bed for Security Research. European Communities, 2009.

УДК 004.423

**Д. А. Кузнецов**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Н. И. Синёв** – инженер института ВКиСТ – научный руководитель

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ПОДХОДА К ХРАНЕНИЮ И ОБРАБОТКЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Диагностическая информация – неотъемлемая и важная часть современных проектов, независимо от их сферы применения: веб-сайты, прикладные программы, модели или реальное аппаратное обеспечение. Диагностическая информация в хронологическом порядке несет в себе данные о прошедших событиях в ходе работы проекта, результатах вычислений, состоянии программного комплекса и т.д. Данная информация полезна не только разработчику для анализа работы проекта, поиска причины ошибки и верификации результатов работы, но и может быть полезна и/или необходима для конечных пользователей проекта. В целом можно выделить три подхода хранения диагностической информации: в текстовом формате, с использованием языков разметки и с использованием базы данных. Целью данной статьи является выбор наиболее подходящего решения для системы автоматизированного проектирования и моделирования бортовых космических сетей SpaceWire – SANDS [1]. Для достижения этой цели был проведен анализ уже реализованных и возможных подходов для дальнейшего применения.

Система моделирования SANDS представляет собой программный комплекс, предназначенный для моделирования бортовых сетей на всех требуемых уровнях модели OSI и применимых протоколов различных уровней, работающих в узлах и коммутаторах сети. Диагностическая информация в данном комплексе содержит общую информацию о работе устройств, работе протоколов RMAP [2], СТП-ИСС [3] и SpaceWire [4], информацию об ошибках в каналах и устройствах.

Диагностическая информация для поставленной цели должна удовлетворять ряду правил и требований. Информация должна быть достаточной и содержательной: более подробное описание событий улучшает и облегчает процесс анализа информации. Однако избыток информации пагубно сказывается на размере выходного файла и объеме хранимой информации. Анализ большого объема диагностической информации довольно трудоемкий процесс, которому избыточная информация может только помешать. Разбор выходных данных, полученных в ходе работы программного комплекса SANDS, будут проводить конечные пользователи данной программы. Для облегчения этой задачи необходимо предоставлять диагностическую информацию в удобном для анализа формате, чтобы конечный пользователь имел возможность применять представляемые ему различные операции над набором выходных данных для осуществления быстрого поиска конкретной информации или модифицирования её представления.

Самый простой подход, заключающийся в последовательной записи информации в выходной **текстовый файл** (см. рис. 1). Из очевидных преимуществ – это простота реализации. Однако данный подход имеет ряд недостатков. В ходе работы сети в каждом устройстве происходит неограниченно большое количество событий, что приводит к очевидному росту объема информации в выходном файле. Текстовый формат, в основном, не предоставляет как таковых операций над информацией, а имеет только базовые возможности на уровне текстового редактора – поиск ключевых фраз, выделение одинаковых слов. Вид представляемой информации задается в тексте самой программы – дальнейшее изменение формата выводимой информации. По большей части это является недостатком данного подхода, но и в тоже время достоинством – данный подход, в целом, не требует больших затрат по времени для реализации, что позволяет сконцентрироваться на разработке программного комплекса.

Одним из вариантов оптимизации текстового формата является кодирование диагностической информации. В закодированном виде такая информация будет трудно читаемой и для ее чтения необходим процесс декодирования. Такой вариант позволяет сократить размер выходного файла за счет отсутствия пояснительного текста и символов форматирования. Один из вариантов кодирования информации заключается в создании логической структуры каждого события в формате «если поле N имеет следующие значение – поля N+1 содержит следующую информацию».

```

484.32 us      on_swPacketReceived      Rx      <<<<      length 266, 33 252 204 0 0 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11
484.32 us      handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      Receive transport connection packet
484.32 us      checkCOandStateMachine Tx      >>>>      stop SB TIMER for transport connection # 0
484.32 us      handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      recognition type packet: GENERAL_CONNECTION_PACKET
484.32 us      checkCOandStateMachine Tx      >>>>      set SB TIMER for transport connection # 0
484.32 us      stp_messageCO_rsp       Rx      >>>>      stp_messageCO_ind (source logical addr 32, appID 2, GENERAL_CO_
537.6 us       on_swPacketReceived      Rx      <<<<      length 266, 33 252 204 0 1 10 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
537.6 us      handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      Receive transport connection packet
537.6 us      checkCOandStateMachine Tx      >>>>      stop SB TIMER for transport connection # 0
537.6 us      handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      recognition type packet: GENERAL_CONNECTION_PACKET
537.6 us      checkCOandStateMachine Tx      >>>>      set SB TIMER for transport connection # 0
590.88 us     on_swPacketReceived      Rx      <<<<      length 266, 33 252 204 0 2 10 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
590.88 us     handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      Receive transport connection packet
590.88 us     checkCOandStateMachine Tx      >>>>      stop SB TIMER for transport connection # 0
590.88 us     handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      recognition type packet: GENERAL_CONNECTION_PACKET
590.88 us     checkCOandStateMachine Tx      >>>>      set SB TIMER for transport connection # 0
644.16 us     on_swPacketReceived      Rx      <<<<      length 266, 33 252 204 0 3 10 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
644.16 us     handleRxCOPacket        Rx      :<<<<      Receive transport connection packet
644.16 us     checkCOandStateMachine Tx      >>>>      stop SB TIMER for transport connection # 0
    
```

Рис. 1. Пример текстового формата диагностической информации

Стоит отметить, что формирование диагностической информации с применением кодирования, при текстовом подходе, требует однозначного описания каждого события и точного соблюдения данного описания в процессе кодирования и декодирования событий. Так же, при данном варианте возможно создание набора фильтров, однако реализация такого рода опций для анализа – крайне трудоемкая работа, дальнейшее добавление или изменение существующих фильтров не целесообразно. Процесс кодирования и декодирования может производиться разными программами, что упрощает задачу создания и модификации представления диагностической информации конечному пользователю – в виде пользовательского интерфейса или, к примеру, в виде файла с применением **языка разметки** [5].

Язык разметки – встраиваемые в текстовый файл дополнительные наборы символов. Данные символы передают дополнительную информацию об отдельных участках диагностической информации и/или информацию об отображении и форматировании текстового файла. Типичные примеры языков разметки – XML, JSON, HTML и т.д. Язык разметки в разы упрощает процесс обработки и поиска информации в файле, решает вопрос представления выходной информации конечному пользователю. Так, используя язык HTML, можно представлять диагностическую информацию в виде таблиц, выделяя за счет форматирования какие-то её критичные участки. На рис. 2 показан пример хранения диагностической информации в закодированном текстовом формате и отображения декодированного варианта с использованием языка разметки.

The image shows a screenshot of a network simulation log. At the top, there is a line of raw data: `9 24000000;42;15;250;1;0;4;1;0;44;3;` and `10 24000000;43;15;250;1;0;4;1;1;44;4;`. Below this, a browser window displays the same data rendered as an HTML table with two rows. The first row (ID 9) shows a packet of 24 microseconds, node 250, and a buffer change event. The second row (ID 10) shows a packet of 24 microseconds, node 250, and a buffer change event.

ID	Time	Node/Name/Protocol	Event Type	Details
9	24 мкс	Узел: 250 Название: Узел 250 Комплект: А Протокол: SpaceWire	Тип события: Изменение состояния буфера	Состояние: Пакет записан в буфер ID сообщения: 44 Порт: 1 Буфер: Входной
10	24 мкс	Узел: 250 Название: Узел 250 Комплект: А Протокол: SpaceWire	Тип события: Изменение состояния буфера	Состояние: Пакет удален (вышел) из буфера ID сообщения: 44 Порт: 1 Буфер: Выходной

Рис. 2. Пример хранения и отображения диагностической информации

Очевидно, что использование языка разметки в разы увеличивает размер выходного файла. В некой степени, диагностическая информация с применением языка разметки – улучшенный вариант текстового формата. Хотя по-прежнему применение фильтров или сортировки событий трудно реализовать, тем не менее это легче разработать по сравнению с текстовым форматом. Если необходимо применять к диагностической информации дополнительные операции над выходным набором данных для упрощения анализа, то целесообразнее использование базы данных [6].

Базы данных (БД) представляют собой совокупность информации, хранимой в соответствии со схемой данных. В основном, базы данных представляют собой набор таблиц, которые могут быть взаимно связаны между собой. Наличие схемы данных в БД обеспечивает эффективный поиск и обработку хранимой информации. Одним из вариантов организации, хранения и управления диагностической информацией в базе данных является применение языка SQL. В отличие от текстового формата выходных данных, к базам данных можно применять SQL-запросы, предоставляющие возможности для фильтрации, выборки и поиска информации. Формат выводимой информации можно представлять в виде таблиц или использовать поля конкретной записи уже в собственной реализации. Из недостатков стоит отметить большой объем занимает памяти, а также сложность составления структуры данных.

Исходя из сравнения, можно сказать, что универсального и оптимального подхода к хранению и обработке диагностической информации не существует. Выбор того или иного подхода делается исходя из накладываемых на задачу требований и ограничений. Для поставленной цели выбрано хранение выходной информации в базе данных. Основным критерием при выборе данного подхода является возможность создания, на основе запросов к базе данных, ряда операций над набором информации: поиск по значению, поиск по ключевому слову, выборка информации по различным логическим условиям, сортировка по разным столбцам.

### Библиографический список

1. Olenev V. L., Lavrovskaya I. I., Sheynin Y. E. Space Wire Automated Network Design and Simulation // 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). Saint-Petersburg. 2018.
2. ESA. Standard ECSS-E-ST-50-52C, SpaceWire – Remote Memory Access Protocol. Noordwijk: Publications Division ESTEC. 2010. 109 с.
3. Sheynin Y. et al. STP-ISS Transport Protocol for Spacecraft On-board Networks / Y. Sheynin, V. Olenev, I. Lavrovskaya, I. Korobkov, D. Dymov // Proceedings of 6th International SpaceWire Conference, 2014. Program; Greece. Athens. 2014. P. 26–31.
4. ESA. Standard ECSS-E-ST-50-12C. Space Engineering SpaceWire – Links, Nodes, Routers and Networks. Noordwijk: Publications Division ESTEC, 2008. P. 137.
5. Язык размети. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Язык\\_разметки](https://ru.wikipedia.org/wiki/Язык_разметки) (дата обращения: 15.03.2019).
6. База данных. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/База\\_данных](https://ru.wikipedia.org/wiki/База_данных) (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 004.048, 004.021

**С. Е. Лазарев**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. В. Шахомиров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ПОНЯТИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ, СПОСОБЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В современном мире все большую популярность набирают системы анализа данных для получения наиболее точных прогнозов, основывающихся на данных, полученных из различных источников. В данной статье будут раскрыты базовые принципы построения проекта по анализу данных.

Анализ данных – область математики и информатики, занимающаяся построением и исследованием наиболее общих математических методов и вычислительных алгоритмов извлечения знаний из экспериментальных (в широком смысле) данных; процесс исследования, фильтрации, преобразования и моделирования данных с целью извлечения полезной информации и принятия решений [1].

Главной особенностью анализа данных является наличие системы методов и приложений, основанных на алгоритмах обработки данных и не имеющих четко зафиксированного ответа на каждый входящий объект. Эта особенность отличает нейросеть от классических алгоритмов, реализующих словарь или сортировку. Используя алгоритмы машинного обучения, мы принимаем, что нейросеть будет ошибаться на тех или иных вариантах корректных входных данных.

Для более полного понимания принципа работы методов машинного обучения возьмем конкретную задачу. Пусть наша система получает на вход изображение с рукописной цифрой. После обработки она должна выдать эту цифру. Прибегая к алгоритмам и методам машинного обучения мы будем пользоваться вручную размеченной выборкой для автоматического подбора решающей функции. Таким образом алгоритмом машинного обучения, в общем виде, является алгоритм, который на основе исходных данных формирует недетерминированный алгоритм приводящий к решению поставленной задачи.

В данный момент машинное обучение является наиболее мощным методом анализа данных. Большинство алгоритмов машинного обучения принимают на вход наборы чисел фиксированной длины. Это является главной проблемой таких алгоритмов – невозможна обработка данных произвольной природы, в связи с чем задача по предобработке исходных данных для приведения их в приемлемый для алгоритма вид ложится на разработчика. Такая предобработка называется *препроцессингом* или *feature selection*. Хотя алгоритмы на основе нейронных сетей и умеют принимать на вход не только наборы чисел, но и объекты, имеющие некоторые дополнительные свойства (главным образом геометрические), такие как изображения, аудио, видео и тексты, некоторая предобработка как правило происходит и в этих случаях.

Как сказано выше, поставленная задача решается с помощью алгоритмов машинного обучения, а точнее алгоритмом машинного обучения с учителем.

Обучение с учителем (Supervised learning) – один из разделов машинного обучения, посвященный решению следующей задачи. Имеется множество объектов (ситуаций) и множество возможных ответов (откликов, реакций). Существует некоторая зависимость между ответами и объектами, но она неизвестна. Известна только конечная совокупность прецедентов – пар «объект, ответ», называемая обучающей выборкой. На основе этих данных требуется восстановить зависимость, то есть построить алгоритм, способный для любого объекта выдать достаточно точный ответ. Для измерения точности ответов определённым образом вводится функционал качества [2].

Такой алгоритм берет на вход набор точек  $(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$  и меток  $(y_0, y_1, \dots, y_{n-1})$  (метками являются значения, которые мы пытаемся предсказать), а на выходе дает алгоритм  $F$ , который сопоставляет конкретное значение  $y$  любому входу  $x$ . Набор подающихся на вход точек (также называются *примерами* или *samples*) и меток называется *обучающей выборкой*. Собственно, под учителем понимается либо сама обучающая выборка, либо тот, кто указал на заданных примерах правильные метки.

В настоящее время ведутся активные исследования в области поиска эффективных алгоритмов машинного обучения с учителем, но не смотря на это список методов очень ограничен. В связи с этим для правильного и эффективного применения имеющихся алгоритмов требуется большой опыт и подготовка. Сложность состоит в сведении практической задачи к задаче анализа данных и последующем препроцессинге.

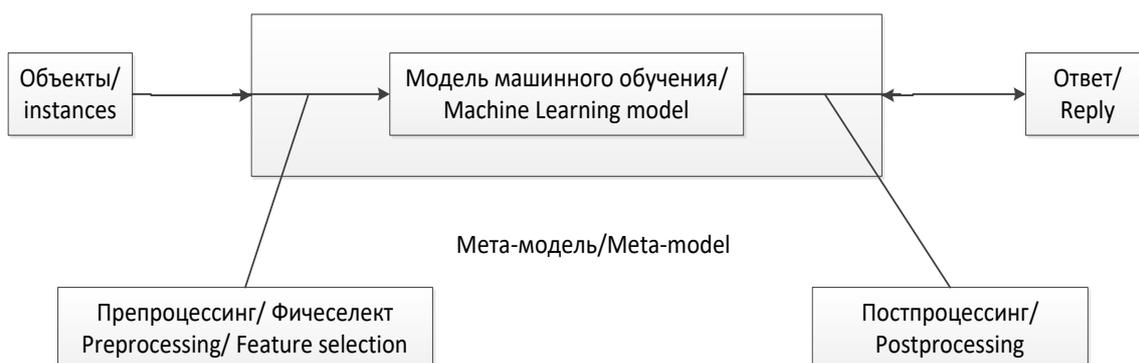


Схема решения задачи анализа данных при использовании метода машинного обучения

Цепочку «препроцессинг – модель машинного обучения – постпроцессинг» удобно выделять в единую сущность и называют мета-моделью (meta-model). Часто такая цепочка остается неизменной и лишь регулярно обучается на вновь поступающих данных.

Задачи машинного обучения с учителем делят на задачи классификации, регрессии и логистической регрессии в зависимости от постановки задачи.

Классификация – постановка задачи, при которой требуется определить, к какому классу из некоторого четко заданного списка относится входящий объект. Типичным и популярным примером является уже упоминавшееся распознавание цифр, в ней каждому изображению нужно сопоставить один из 10 классов, соответствующий изображенной цифре.

Регрессия – постановка задачи, при которой требуется предсказать некоторую количественную характеристику объекта, например цену или возраст.

Логистическая регрессия сочетает свойства перечисленных выше двух постановок задач. В ней задаются совершившиеся события на объектах, а требуется предсказать их вероятности на новых объектах. Типичным примером такой задачи является задача предсказания вероятности перехода пользователя по рекомендательной ссылке или рекламному объявлению.

Для объективной оценки качества работы алгоритма требуется сравнить результат его применения с действительным ответом, узнать метрику качества предсказания. Метрикой является функция, берущая на вход список предсказаний  $(p_0, p_1, \dots, p_{m-1})$  и список случившихся ответов  $(a_0, a_1, \dots, a_{m-1})$ , а возвращающая число соответствующее качеству предсказания. Например, в случае задачи классификации самым простым и популярным вариантом является количество несовпадений  $\left( \sum_{i=0}^{m-1} a_i \neq p_i \right)$ ,

а в случае задачи регрессии – среднеквадратичное отклонение  $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{m-1} \left( (a_i - p_i)^2 \right)$ . Однако в большинстве случаев из практических соображений необходимо использовать менее стандартные метрики качества.

Также для оценки качества работы алгоритма используется механизм под названием валидационная процедура. Имеющаяся в распоряжении размеченная выборка разделяется на две части – обучающую и валидационную. Обучение алгоритма происходит на обучающей выборке, а оценка его качества (или валидация) – на валидационной.

### Библиографический список

1. Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (дата обращения: 27.03.2019).
2. Smola A., and S.V.N. Vishwanathan Introduction to Machine Learning. URL: <http://alex.smola.org/drafts/thebook.pdf> (дата обращения: 27.03.2019).

УДК 004.777: 004.057.3:004.057.4

**В. А. Прошкин**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. В. Шахомиров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОКОЛА SOAP И АРХИТЕКТУРНОГО СТИЛЯ REST

### Введение

Веб-сервисы отвечают за интерактивное межмашинное взаимодействие. Компьютеры используют их для общения друг с другом через Интернет. Фактически, это интерфейсы веб-сайтов и приложений, которые находятся на устройствах конечных пользователей [1].

Связанные данные хранятся на удаленном сервере и передаются на клиентский компьютер через API, которые предоставляют веб-сервисы сторонним пользователям. API могут использовать разные архитектуры для передачи данных с сервера на клиентский компьютер.

SOAP и REST позволяют создавать собственный API. API означает интерфейс прикладного программирования. Это позволяет передавать данные из приложения в другие приложения. API получает запросы и отправляет ответы через интернет-протоколы, такие как HTTP, SMTP и другие.

SOAP – это стандартизированный протокол, который отправляет сообщения с использованием других протоколов, таких как HTTP и SMTP. Спецификации SOAP являются официальными веб-стандартами, которые поддерживаются и разрабатываются Консорциумом World Wide Web (W3C). В отличие от SOAP, REST – это не протокол, а архитектурный стиль. Архитектура REST устанавливает набор рекомендаций, которым необходимо следовать, если вы хотите предоставить веб-службу RESTful, например, существование без сохранения состояния и использование кодов состояния HTTP.

### Архитектура REST

REST – архитектурный стиль, выстроенный на существующих хорошо известных стандартах, таких как HTTP, URI и XML. В REST-сервисах акцент сделан на доступ к ресурсам, а не на исполнение удаленных сервисов. В общем случае REST является очень простым интерфейсом управления информацией без использования каких-либо дополнительных внутренних прослоек.

Термин REST ввел в 2000 г. Рой Филдинг, один из разработчиков протокола HTTP [2, 3], в качестве названия группы принципов построения веб-приложений. Филдинг описал концепцию построения распределенного приложения, при которой каждый запрос (REST-запрос) клиента к серверу содержит в себе исчерпывающую информацию о желаемом ответе сервера, и сервер не обязан сохранять информацию о состоянии клиента («клиентской сессии») [4].

REST описывает принципы взаимодействия клиента и сервера, основанные на понятиях «ресурса» и «глагола» (можно понимать их как подлежащее и сказуемое). В случае HTTP ресурс определяется своим URI, а глагол – это HTTP-метод.

REST-сервисы достаточно просто реализовывать, поскольку они базируются на хорошо известных протоколах и не требуют от разработчика изучения разных WS-спецификаций. Данные передаются без применения дополнительных слоев, поэтому REST считается менее ресурсоемким: нет необходимости разбирать запрос, чтобы понять, что именно он должен сделать, не надо переводить данные из одного формата в другой.

Так как разработка сервисов обычно ведется с использованием HTTP, следует использовать методы этого протокола для определения действия над ресурсом. Общеприняты следующие стандарты:

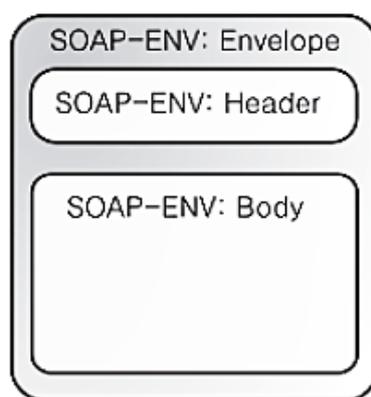
- GET/URL/(Index) – получение списка всех объектов. Как правило, это упрощенный список, т. е. содержащий только поля идентификатора и названия объекта, без остальных данных;
- GET/URL/{id} (View) – получение полной информации об объекте;
- POST/URL/(Create) – создание нового объекта. Данные передаются в теле запроса без применения кодирования;
- PUT/URL/{id} (Edit) – изменение данных с идентификатором {id}, возможно, замена данных;
- DELETE/URL/{id} (Delete) – удаление данных с идентификатором {id}.

## Протокол SOAP

SOAP – расширение протокола XML-RPC [5], который, в свою очередь, является одним из стандартов вызова удаленных процедур, использующий XML для кодирования сообщения и HTTP в качестве транспортного механизма.

XML-RPC (Extensible Markup Language Remote Procedure Call – XML-вызов удалённых процедур) – протокол вызова удаленных процедур, который, как и любой другой интерфейс RPC, определяет набор стандартных типов данных и команд, используемых для доступа к функциональности программы, находящейся удаленно. Вызовы XML-RPC представляют собой простой тип данных text/xml и свободно проходят сквозь шлюзы везде, где допускается ретрансляция http трафика [6].

SOAP-конверт содержит либо запрос на осуществление некоторого действия, либо ответ – результат выполнения этого действия. Конверт и его содержимое закодировано языком XML. Структура SOAP-сообщения приведена на рисунке, где конверт (Envelope), заголовок (Header) и тело (Body) являются основными частями SOAP-сообщения.



Структура SOAP-сообщения

### Сравнение SOAP и REST по критериям

Сравнение представлено в таблице.

Таблица

### Сравнение SOAP и REST по критериям

Критерий	SOAP	REST
Спецификация Java	JAX-WS	JAX-RS
Независимость от языка	Да	Да
Независимость от платформы	Да	Да
Независимость от транспорта	Да	Нет
Стандартизирован	Да	Нет
Безопасность	SSL, WS-Security	SSL
Транзакции	WS-AtomicTransaction	Нет
Надежная доставка	WS-ReliableMessaging	Контроль со стороны приложения
Кеширование	Нет	Есть для метода GET
Транспорт	HTTP, SMTP, JMS	HTTP
Размер сообщений	Большой, служебные данные	Небольшой
Формат обмена данными	XML	XML, JSON и любой тип MIME
Описание сервисов	WSDL	Формального нет

### Заключение

В данной статье изучены такие стандарты, как SOAP и REST, проведено их сравнение с теоретической точки зрения, в дальнейших работах планируется написать приложения с идентичной функ-

циональностью с целью оценки производительности данных протоколов, а также произвести анализ результатов производительности, на основе которого можно будет сделать вывод об эффективности использования SOAP и REST.

### Библиографический список

1. W3.org. Официальный сайт Консорциума Всемирной Паутины. Заявление об активности веб-служб. URL: <https://www.w3.org/2002/ws/Activity> (дата обращения: 12.03.2019).
2. Roy Fielding about HTTP, REST, WebDAV, JSR 170, and Waka. URL: <http://jonudell.net/udell/2006-08-25-a-conversation-with-roy-fielding-about-http-rest-webdav-jsr-170-and-waka.html> (дата обращения: 13.03.2019).
3. Roy Fielding on Versioning, Hypermedia, and REST. URL: <https://www.infoq.com/articles/roy-fielding-on-versioning> (дата обращения: 13.03.2019).
4. Хабрахабр. RESTandSOAP. Ч. 1. Почувствуйте разницу. URL: <https://habrahabr.ru/post/131343> (дата обращения: 15.03.2019).
5. Лошин П. Протокол SOAP // ComputerWorld Россия. 2000. № 35.
6. Лозовюк А. XML-RPC, вызов удаленных процедур с помощью XML. URL: [http://citforum.ru/internet/xml/xml\\_rpc/](http://citforum.ru/internet/xml/xml_rpc/) (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 004.777: 004.057.3:004.057.4

**С. В. Рабин**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. В. Шахомиров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ИГРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВЕРСИЙ

### Введение

Вместе с популярностью смартфонов и мобильных устройств, бизнес мобильных приложений цвел в экспоненциальном масштабе. В наше время, рынок мобильных приложений стал одним из самых активных и прибыльных рынков в мире. Отчет Statista [1] показывает, что есть в настоящее время приблизительно 2,5 миллиона приложений, доступных на платформе iOS, где целых 60 тысяч приложений добавляются ежемесячно, и этот уровень, сам растущий.

Огромное количество приложений приводит к жестокой конкуренции. Чтобы улучшить конкурентоспособность и быть востребованными пользователями, поставщики приложений обновляют и поддерживают их постоянно. Например, у Facebook, есть более чем 70 выпусков за шесть лет, с тех пор как это было запущено. Несколько подобных случаев, такие как Candy Crush Saga2, Clash of Clans3 могут показать, что обслуживание мобильных приложений имеет особое значение для поставщиков приложения.

К сожалению, на практике, такой важный процесс часто страдает от отсутствия достоверной информации, полезных руководств или поддержки [2]. Даже при том, что понятия и методы программного обеспечения обслуживания могут быть применены в обслуживании мобильного приложения, мобильные приложения имеют свои уникальные характеристики. Поэтому понимание обслуживания обрабатывает важную область, чтобы далее разработать инструкции для обслуживания мобильного приложения.

### Сравнение подходов анализа

В настоящее время данные, связанные с приложениями, имеются в 'App Store' и 'Google Play', такие как жанр приложения, пользовательские рейтинги и число загрузок.

Эти данные содержат ценную информацию для исследования пользовательских поведений, подавая тенденции и другие интересные проблемы. Например, Chen и Liu [3] нашли корреляцию между ценой приложения и жанром приложения. Ragano и Maalej [4] иллюстрируют корреляцию между длиной отзыва пользователя и ценой приложения. Кроме того, метод вызывал AR-miner (App Review Miner), чтобы извлечь требования пользователя из отзывов пользователя, предложен Chen и др. [3].

Эти исследования, главным образом, фокусируются на данных отзывов пользователей, чтобы проанализировать насколько полезны они.

Только Li и др. [6] предложили три модели процессов мобильного приложения, наблюдая данные истории версий 100 мобильных приложений в различных категориях приложений с жанром 'Хранилище'.

Данные истории версий мобильного приложения – данные, которые содержат полные отчеты когда (дата выпуска версии) приложение обновлено и что (описание версии) обновлено.

Кроме того, все они сохранены в текстовом формате, а именно с момента, когда приложение запущено в 'App Store' и заканчивая тем, когда приложение перестает поддерживаться.

Исследование Li демонстрировало, что данные истории версий мобильного приложения содержат ценную информацию в исследовании проблем обслуживания мобильного приложения.

### Заключение

Отличающиеся от исследования Li, мои данные истории версий будут содержать порядка 200 популярных мобильных приложений в игровой категории. Все данные будут собраны с платформы iOS и проанализированы через два шага анализа данных: классификация текстов и кластеризация данных.

Исследование будет стремиться суммировать процесс обслуживания приложений игры для мобильных устройств.

Результаты анализа данных могут помочь специалистам по обслуживанию приложения игры для мобильных устройств и решению производителей в планировании операций по техобслуживанию.

### Библиографический список

1. Statista (2017). Number of Available Apps In The Apple App Store From July 2008 to January 2017. URL: <https://www.statista.com/statistics/263795/number-of-available-apps-in-the-apple-app-store> (дата обращения: 14.06.2017).
2. Basili, V. et al. Understanding and predicting the process of software maintenance release / V. Basili, L. Briand, S. Condon, Y.-M. Kim, W. L. Melo, and J. D. Valett // In Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering. IEEE Computer Society, 1996. P. 464–474.
3. Chen M., and Liu X. Predicting Popularity of Online Distributed Applications: iTunes App Store Case Analysis // In Proceedings of the 2011 iConference, 2011. P. 661– 663.
4. Chen N. et al. Ar-miner: mining informative reviews for developers from mobile app marketplace / N. Chen, J. Lin, S. C.Hoi, X. Xiao, and B. Zhang // In Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, 2014. P. 767–778.
5. Pagano D., and Maalej W. User Feedback in the Appstore: An Empirical Study // In 2013 21st IEEE International Requirements Engineering Conference (RE), 2013. P. 125– 134.
6. Li X., Zhang Z., and Nummenmaa J. Models for Mobile Application Maintenance Based on Update History // In Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE), 2014. P. 1–6.

## УДК 004.3

**С. С. Абашкина, М. М. Сизова**

студенты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Н. Иванов** – кандидат технических наук – научный руководитель**ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ  
В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

В последнее время, современные коммутации столкнулись с тем, что необходимо обеспечить высококачественную связь, сохраняя при этом весь привычный набор сервисов (голосовой, доступ к интернету, передача данных и т.д.), независимо от местоположения. Спутниковая система связи, благодаря своим физическим свойствам, способна решить данную проблему, давая глобальный доступ к услугам связи [1].

Коммуникационным спутникам необходимо обеспечить поддержку наиболее сложных телекоммуникационных сервисов, например, Internet или P2P сервисы. Для этого необходимо постоянное обновление архитектуры бортовых систем, например, увеличение пропускной способности, разнообразие функциональности обработки и ее гибкости.

Коммуникационная полезная нагрузка на борту спутника выполняет несложную операцию ретрансляцию радиосигнала, которая заключается в приеме радиосигнала от передатчика, находящегося на поверхности Земли, и передаче этого сигнала практически без обработки в сторону приемника на Земле. Операция ретрансляции в одном канале выполняется транспондером. Нагрузка может включать в себя несколько десятков транспондеров. Данная архитектура не подразумевает динамической коммутации на канальном и подканальном уровне, то есть поддерживает только фиксированные потоки информации в направлении земля-спутник-земля. Именно это является недостатком для реализации телекоммуникационных сервисов средствами спутниковой связи.

Другая проблема – это технологическое устаревание бортового оборудования за время существования спутника. Ожидаемый срок работы GEO спутника на орбите 15 лет, за это время происходят революционные изменения программного и аппаратного обеспечения [1]. Если не закладывать возможности реконфигурации, то телекоммуникационная полезная нагрузка спутника может устареть уже к началу его эксплуатации.

Одним из способов решения данной проблемы является разработка эффективной реконфигурируемой регенеративной архитектуры телекоммуникационной полезной нагрузки в системах спутниковой связи. Разработки в этой области рассматриваются производителями оборудования для спутниковой связи как ключевые и делающие такую связь реальным конкурентом сотовой беспроводной связи.

Телекоммуникационная полезная нагрузка с регенеративной архитектурой обладает рядом достоинств по сравнению с транспондерами [1]:

- отсутствие распространения ошибок при переприеме в каналах спутниковой связи;
- возможность цифровой коммутации взамен громоздкой аналоговой.

Важной частью исследования является возможность построения бортового процессора ОВР (On-Board Processor) как ядра цифровой телекоммуникационной полезной нагрузки (ЦТПН), приведенном на рис. 1. Благодаря этому появится возможность реконфигурирования ЦТПН во время нахождения спутника на орбите. Это обеспечит переход на новые более эффективные алгоритмы функционирования коммуникационной нагрузки за время эксплуатации спутника. Процедура регенерации сигнала выполняется бортовым процессором ОВР (On-Board Processor).

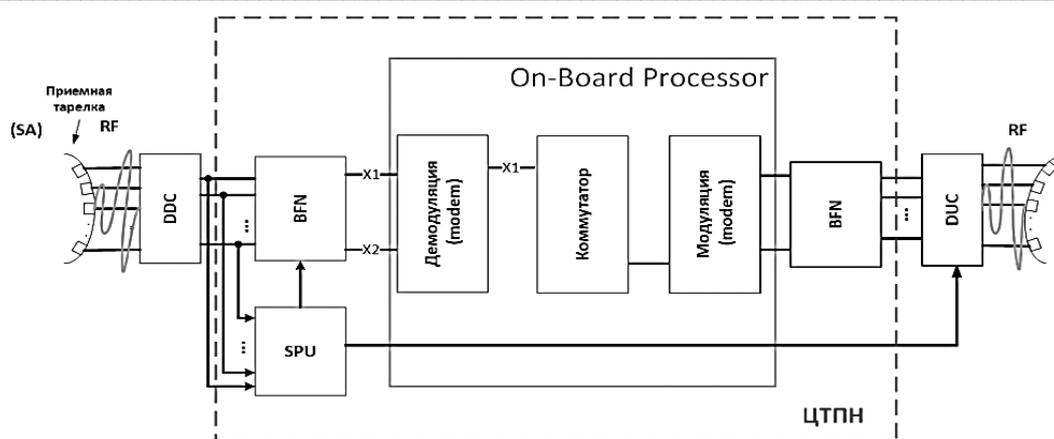


Рис. 1. Схема ретрансляции сигнала

На рис. 1 аббревиатуры означают следующее:

- SA (Smart Antenna) – особенность этой антенны: наличие многих элементов;
- DDC (Digital Down Converter) – цифровой понижающий конвертор;
- SPU (Signal Processing Unit) – устройство, определяющее коэффициенты для BFN;
- BFN (Beamforming Network) – устройство, формирующее диаграмму направленности антенной системы;
- DUC (Digital Up Converter) – цифровой повышающий конвертор.

OBP чаще всего используется в спутниковой связи с возможностью изменения конфигурации полезной нагрузки, гибкой адаптации к существующим системам за счет масштабируемой полосы пропускания, которая варьируется от широкополосной до узкополосной, модуляции/демодуляции радиосигнала, помехоустойчивого кодирования/декодирования, выделения заголовка пакета, коммутации пакета в зависимости от сетевого адреса [2].

На рис. 2 представлена архитектура RRS (Reconfigurable Radio System), состоящая из 4 компонент, которые определяются как:

- уровень коммуникационных услуг (CSL – Communication Services Layer) включающий в себя 4 объекта – администратор, управление политикой мобильности, сетевой стек и монитор;

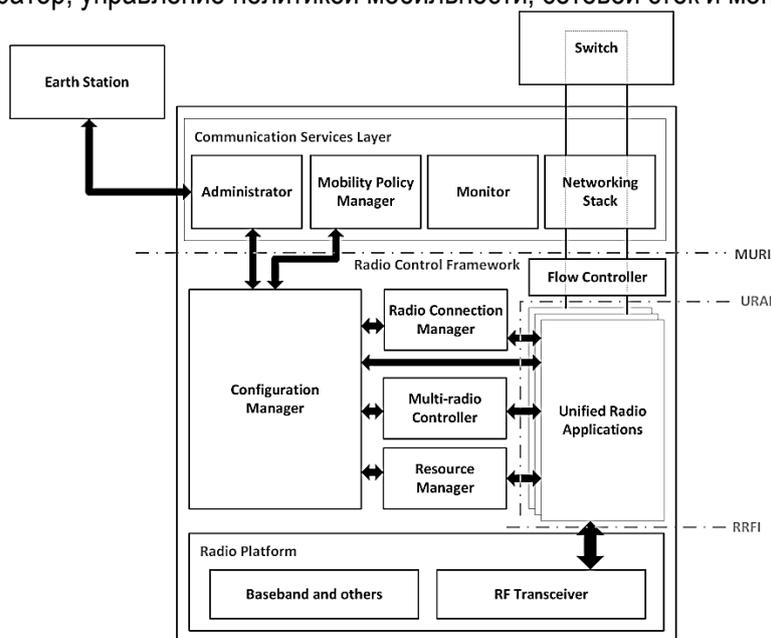


Рис. 2. Архитектура RRS

- среда для управления радио (RCF – Radio Control Framework), включающая в себя 5 объектов – управление конфигурациями, управление радио соединением, мультирадио контроллер, управление ресурсами, контроллер потока;
- радио приложения (URA – Unified Radio Applications);
- радио-платформа, состоящая из радиопередатчика и радиоприемника, а также антенны.

На рис. 2 аббревиатуры означают:

- MURI (Multiradio Interface) – мультирадио интерфейс;
- URAI (Unified Radio Applications Interface) – интерфейс радиоприложений;
- RRFI (Reconfigurable Radio Frequency Interface) – реконфигурируемый радиочастотный интерфейс.

Реализация и описание компонент RRS происходит на программном уровне, что позволяет оптимизировать разработку системы. Управление протоколами, представленными в виде приложений, упрощает работу платформы, что открывает возможность обработки любых протоколов беспроводной связи [3].

Исследование возможности построения программной архитектуры системы на основе комплекса стандартов по реконфигурируемому радио Европейского Института Стандартизации Телекоммуникаций ETSI (European Telecommunication Standardization Institute) основано на адаптации этих стандартов для спутниковой связи. Предлагаемая архитектура не накладывает ограничений на аппаратную архитектуру. Кроме того, она обеспечивает защиту от возможных атак злоумышленников с целью компрометации кода и нанесения ущерба пользователям.

Интеграция RRS в ОBP позволяет осуществлять функцию реконфигурации телекоммуникационной полезной нагрузки в системах спутниковой связи.

#### Библиографический список

1. Licensing & Databases. URL: [https://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment\\_key=1190019](https://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1190019) (дата обращения: 27.03.2019).
2. Fraunhofer On-Board Processor. URL: <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/kom/satkom/FOBP.html> (дата обращения: 25.03.2019).
3. Reconfigurable Radio Systems (RRS). Radio Reconfiguration related Architecture for Mobile Devices. ETSI EN 303 095. V 1.3.1. 2017. P. 10–12.

УДК 004.051

**П. В. Супронович**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**К. А. Курицын** – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ВВОДА/ВЫВОДА В ОС WINDOWS

Профилирование – сбор характеристик работы программы, таких как время выполнения отдельных фрагментов программы, число верно предсказанных условных переходов, число вызовов того или иного фрагмента и т. д. [1].

Профилирование бывает следующих видов:

- CPU usage – использование программой процессорных мощностей – где программа больше всего использует процессор;
- Memory usage – использование программой памяти, что позволяет найти утечки памяти, заброшенную память, зомби и т.д.;
- Network traffic – использование программой сетевого трафика;
- I/O utilization (input/output utilization) – использование средств ввода/вывода. Помогает найти такие проблемы, как узкие места;
- Sockets – активность сокетов. Мониторинг за количеством открытых соединений, как долго эти соединения остаются открытыми, чтение из сокета, запись в сокет [2].

Существует множество профайлеров, которые используются хотя бы в одной из областей профилирования, однако сложно найти хороший инструмент профилирования операций ввода/вывода для ОС Windows.

Примеры инструментов для профилирования:

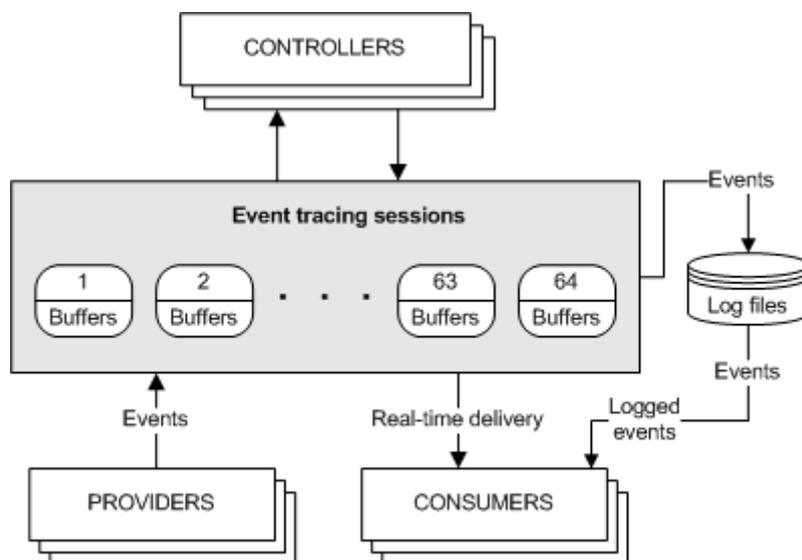
- Async-profiler – профилировщик для java, который может использовать для профилирования центрального процессора и аллокаций памяти. Доступен только на Linux.
- HTTP profiler – это программа, которая суммирует трассировки пакетов HTTP-трафика, чтобы выделить проблемы производительности, вызванные чрезмерным сетевым трафиком.
- Утилиты для профилирования различных областей на ОС Linux. Например, perf, iostat, pidstat, jstak и т.д. Могут использоваться как отдельно, так и в составе программ.
- Linux ioprof – программа для мониторинга операций ввода/вывода на ОС Linux. Использует утилиты для профилирования операций ввода/вывода.
- collectl – инструмент для мониторинга производительности различных подсистем и записи полученных результатов. Может работать и как дамон, и при помощи интерфейса. Собирает информацию про центральный процессор (ЦП), диски, память, сеть, сокеты, network file system и т.д. На ОС Windows работает только анализ уже записанной статистики [3].
- collectd – это демон Unix, который собирает, передает и хранит данные о производительности компьютеров и сетевого оборудования. Может использоваться для профилирования CPU, ввода/вывода и сетевого профилирования. Имеется множество плагинов для работы с разными языками разработки ПО, а также для профилирования характеристик, необходимых конкретному пользователю. Можно написать свои сценарии использования. Может использоваться на ОС, работающих на POSIX. Имеется условно-бесплатный аналог на Windows в виде SSC Serv [4].

На ОС Windows имеется Windows Performance Toolkit.

Windows Performance Toolkit (WPT) – набор инструментов мониторинга производительности, которые создают подробные профили производительности операционной системы и приложений Windows. Состоит из 2 частей: Windows Performance Recorder и Windows Performance Analyzer.

Windows Performance Recorder – это инструмент записи информации о производительности, основанный на трассировке событий для Windows. Трассировка событий для Windows – это средство трассировки на уровне ядра, которое позволяет записывать события ядра в журнальный файл. API трассировки событий разделено на 3 компонента:

1. Контроллеры, которые запускают и останавливают сеанс трассировки событий и включают поставщиков;
  2. Поставщики, которые предоставляют события;
  3. Потребители, которые потребляют события.
- Рисунок ниже показывает модель трассировки событий.



Модель трассировки событий

— Windows Performance Analyzer – это инструмент, который создает графики и таблицы данных событий отслеживания событий для Windows (ETW), которые записываются Windows Performance Recorder [5, 6].

Исходя из полученной информации, было решено разработать инструмент для профилирования операций ввода/вывода в ОС Windows. Получать информацию он будет через Native API. Native API может обращаться к kernel mode и имеет точки доступа для user mode приложений.

Инструмент предполагает следующий принцип работы:

- Взаимодействие с пользователем происходит через графический интерфейс;
- Получение информации об операциях ввода/вывода осуществляется через Native API, а именно библиотеку ntdll.dll;
- Полученная информация преобразуется в необходимый графическому интерфейсу формат и сохраняется в файл;
- Просмотр и анализ данных осуществляется через графический интерфейс, используя данные, сохранённые в файл.

В результате проведённого мной исследования были проанализированы инструменты профилирования операций ввода/вывода и предложен собственный вариант реализации такого инструмента.

Исследование показало, что для ОС Windows имеется только Windows Performance Toolkit, который работает через трассировку событий Windows.

На основании этого был предложен вариант инструмента для профилирования операций ввода/вывода, который получает информацию о процессе через Native API, что является альтернативой трассировки событий.

### Библиографический список

1. Хабр: Do It Yourself Java Profiling. URL: <https://habr.com/post/143468> (дата обращения: 10.04.2019).
2. JUG: Искусство java-профилирования. URL: <https://jug.ru/talks/meetups/the-art-of-the-java-profiling> (дата обращения: 10.04.2019).
3. SourceForge: Collectl. URL: <http://collectl.sourceforge.net> (дата обращения: 14.04.2019).

4. Collectd – The System Statistics Collection Daemon Microsoft Documentation. URL: <https://collectd.org/index.shtml> (дата обращения: 14.04.2019).
5. Microsoft Documentation. Windows Performance Toolkit. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/test/wpt> (дата обращения: 15.04.2019).
6. Microsoft Documentation. Event Tracing. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/desktop/ETW/event-tracing-portal> (дата обращения: 15.04.2019).

УДК 535, 004.93'1

**А. В. Сячиков**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Р. Луцив** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ХРОМАТИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ

### Введение

Хроматическая aberrация – разновидность aberrации оптической системы, обусловленная зависимостью показателя преломления среды от длины волны проходящего через нее излучения. Из-за паразитной дисперсии фокусные расстояния не совпадают для лучей света с разными длинами волн [1].

За счет линзы может изменяться прохождение света, линза влияет на частоту, когда свет проходит через объектив, различные длины волн (цвета) двигаются с разной скоростью и фиксируются в разных местах на датчике (рис. 1). Иногда, неуместность использования линзы, не предназначенной для определенной съемки (например, макро), может вызвать хроматические aberrации. В результате красный, зеленый и синий не сходятся в нужной точке и создают отображение каналов, которые не совпадают.

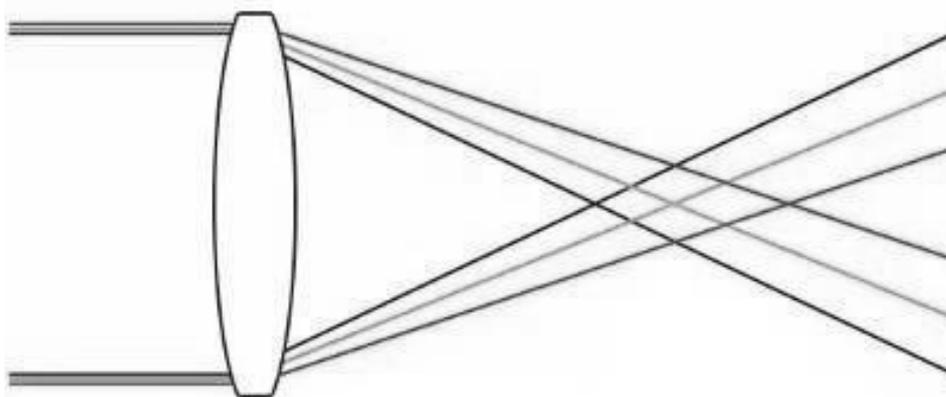


Рис. 1. Прохождение света через линзу

В системе цветного изображения, которая демонстрирует продольные хроматические aberrации, компоненты Red-Green-Blue (RGB) фокусируются на разных плоскостях в пространстве изображения, что приводит к различным уровням резкости (или взаимное размытие) в плоскости датчика для каждого цветового канала в зависимости от расстояния до объекта, как показано на рис. 2. Когда оптически не исправлено (например, очень простые линзы), изменение фокусного расстояния из-за продольного хроматического aberrации приводят к тому, что близкие объекты кажутся размытыми в зеленом и красном каналах, а объекты средней дальности – размытыми в синий и красный каналы, а удаленные объекты выглядят размытыми в синем и зеленом каналах. Эффекты продольного хроматической aberrация на изображениях определяется как нежелательное концентрическое хроматическое размытие, вызывающее цветную окантовку артефакты, особенно заметные по краям объектов с подсветкой. Также обратим внимание, что при рассмотрении деталей на изображении сетчатка человека более чувствительна к зеленому цвету; следовательно, глаз более чувствителен к ошибкам расфокусировки зеленого цвета канал [2].



Рис. 2. Пример эффекта хроматической размытости вследствие продольной хроматической аберрации

### Измерение расстояния на основе эффекта продольной хроматической аберрации

На рис. 3 использованы следующие обозначения:  $D$  – расстояние от линзы до отображаемой точки на поверхности объекта,  $F$  – фокусное расстояние линзы,  $z$  – расстояние от линзы до плоскости сфокусированного изображения,  $v$  – расстояние от линзы до плоскости реально сформированного (например, на фото-пленке) расфокусированного изображения,  $r$  – реальная апертура линзы,  $rb1$  и  $rb2$  – проекции радиуса апертуры на плоскость реально сформированного расфокусированного изображения,  $\epsilon$  и  $\delta$  – вспомогательные переменные для обозначения радиуса апертуры линзы и его проекции на плоскость расфокусированного изображения [2].

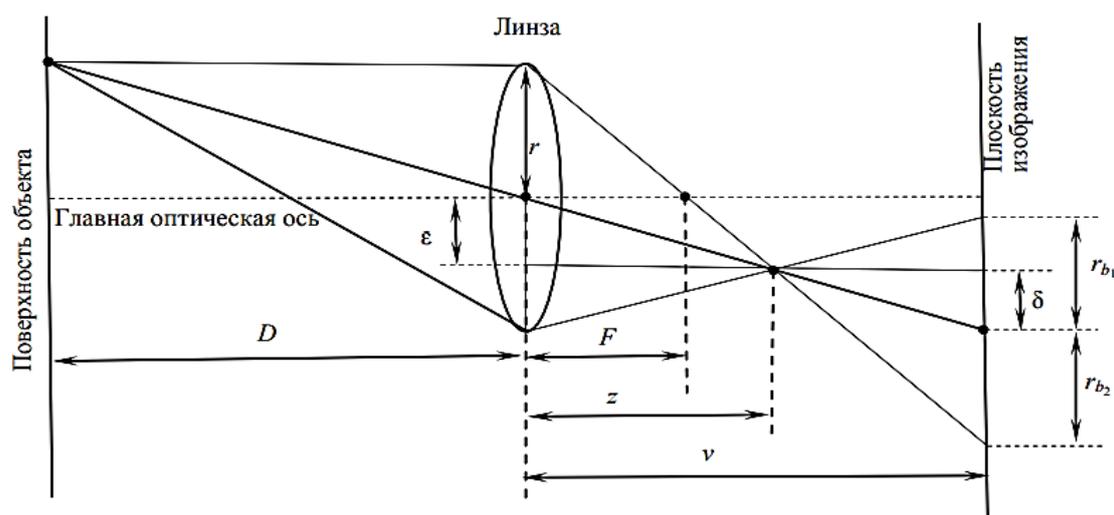


Рис. 3. Схема формирования расфокусированного изображения

Путем несложных преобразований и вычислений выводим формулу для вычисления радиуса пятна рассеивания:

$$r_b = r v \left( \frac{1}{F} - \frac{1}{v} - \frac{1}{D} \right).$$

Далее получаем формулу параметра размытия  $\sigma$  для  $m$ -го варианта расфокусировки изображения:

$$\sigma_m = \rho r_m v_m \left( \frac{1}{F_m} - \frac{1}{v_m} - \frac{1}{D} \right).$$

Выводим параметры размытия для разных вариантов расфокусировки. Далее представляем их как свертку исходного изображения с соответствующим вариантом функции рассеяния точки. Результат свертки соответствует поэлементному перемножению Фурье-спектров и ее операндов.

Функции рассеяния точки экспоненциального вида также имеет вид Фурье-спектр, имеющий форму экспоненты, так что делим спектры друг на друга.

Далее выводим логарифмическое выражение и подставляем в формулу параметра размытия  $\sigma$  для  $m$ -го варианта расфокусировки изображения:

$$D = \frac{\rho r F_2 v}{\rho v - \rho r F_2 - F_2 \sigma_2}.$$

Таким образом, удастся измерить  $D$  до представленных на этих изображениях точек.

### Библиографический список

1. Волкова М. А., Луцив В. Р. Использование эффекта продольной хроматической аберрации для измерения расстояний по единственной фотографии // Труды XII международной конференции «Прикладная оптика-2016». 14–18 ноября 2016 г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. 5 с.
2. Frédéric Guichard, Hoang-Phi Nguyen, Régis Tessières, Marine Pyanet, Imène Tarchouna, and Frédéric Cao // Extended Depth-of-Field Using Sharpness Transport Across Color Channels", Proc. SPIE 7250, Digital Photography V, 72500N (19 January 2009). DOI: 10.1117/12.805915.
3. Saxena A., Chung S.H., Ng A.Y. 3-D Depth Reconstruction FROM A Single Still Image // International Journal of Computer Vision. 2008. Vol. 76. No 1. P. 53–69. DOI: 10.1007/s11263-007-0071-y.

УДК 535, 004.93'1

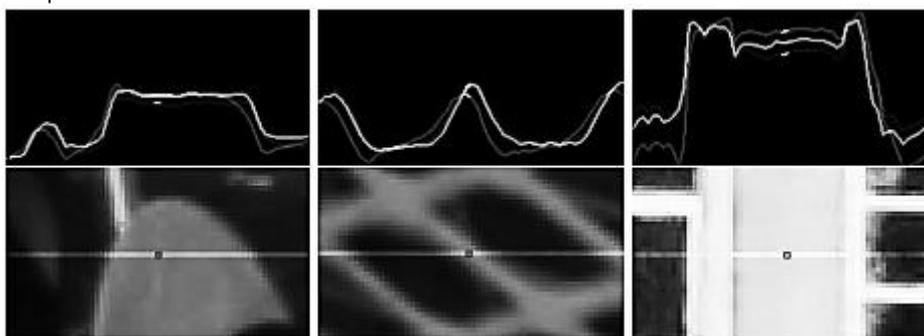
**Н. И. Федоров**

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Р. Луцив** – доктор технических наук – научный руководитель**УЛУЧШЕНИЕ ФОТОСНИМКОВ ПУТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ЭФФЕКТА ХРОМАТИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ****Введение**

Популярность цифровых фотографий связана с низкими затратами и более высоким разрешением датчика камеры. К сожалению, увеличение разрешения датчика не сопровождается повышением качества оптики. Как в результате хроматическая aberrация (ХА), более выражена в камерах с более высоким разрешением и относительно недорогими объективами. Примеры показаны на рисунке. Обратите внимание на небольшие относительные сдвиги в цветовых каналах, как показано в верхней части рисунка. Простая компенсация цветовых сдвигов не будет достаточным в этих случаях.

Такие артефакты недопустимы в профессиональной фотографии, поэтому цифровые фотографии обычно обрабатываются вручную с помощью программных обеспечений, таких как Adobe PhotoShop и Lightroom. Другие приложения, такие как PTLens, используют таблицу поиска предварительно вычисленных параметров для уменьшения артефактов. Не до конца понятно, как эти приложения убирают ХА, но возможно, что они используют постоянное радиальное увеличение и/или линейное преобразование цвета.



*Эффект хроматической aberrации. Во всех случаях центр изображения находится справа от обрезанных изображений. Графики в верхнем ряду представляют собой профили интенсивности цвета вдоль средней линии сканирования*

**Существующие методы**

Рассмотрим существующие методы для уменьшения эффекта ХА. Существующие методы опираются на оптимальной конструкции линз или специальном оборудовании для уменьшения коэффициента aberrаций посредством измерений волнового фронта (например, с использованием дифракционной решетки и с помощью сканирующего электронного микроскопа, или некоторого вида интерферометра). Другие методы полагаются в первую очередь на программные решения. Один из таких методов включает в себя предварительную калибровку цветовых каналов для оптимальной фокусировки, увеличения и смещения [1].

Однако для создания изображения без ХА необходимо сделать три отдельных изображения, каждое из которых использует оптимальные настройки для другого цветового канала.

С другой стороны, Боулт и Волберг используют только одно изображение; они деформируют красный и зеленый цветовые каналы в синий канал. Это достигается путем подгонки смещений ребер кубическими сплайнами с синими ребрами в качестве примера для ссылки [1].

Тем не менее, они не учитывают сопутствующие относительные эффекты расфокусировки и искажения интенсивности. Кроме того, поскольку вычисленные координаты смещения явно не моделируют процесс формирования изображения, неясно, можно ли использовать извлеченные координаты для

прямой коррекции другого изображения, снятого той же камерой. Это потому, что извлеченные координаты сильно зависят от относительной плотности и распределения краев.

### Предлагаемый метод

Предложенная методика компенсации продольной хроматической аберрации будет основываться на метод из статьи [2]. Взаимная расфокусировка красного, зеленого и синего цветовых каналов компенсируется в фотографии путем «переноса резкости между цветовыми каналами». Перед выполнением такого «переноса резкости» компенсируется взаимное размасштабирование изображений, сформированных в красном, зеленом и синем цветовых каналах, возникающее под действием хроматической аберрации увеличения. Затем, взаимная расфокусировка цветовых каналов анализируется и компенсируется локально (в небольшом окне, сканирующем изображение), поскольку разные объекты сфотографированной сцены могли быть по-разному удалены от объектива и, следовательно, их изображения могли быть по-разному расфокусированы. Выполненная перед этим компенсация хроматизма увеличения гарантирует, что одноименное положение сканирующего окна в разных цветовых каналах всегда будет соответствовать одним и тем же деталям на изображении.

Для каждого локального положения сканирующего окна внутри него выбирается цветовой канал, в котором изображение имеет наибольшую резкость. Затем внутри окна в данной его позиции собственно и осуществляется «перенос резкости между цветовыми каналами» путем копирования высокочастотных гармоник пространственного Фурье-спектра из самого резкого цветового канала в спектры двух других каналов. В заключение, над преобразованными вышеописанным способом пространственными спектрами каждого цветового канала выполняется внутри окна обратное двумерное преобразование Фурье для формирования скорректированных изображений в пространственной области.

Следующим этапом данной работы будет реализация с помощью специального оборудования – увеличенного фрагмента цветного изображения, «сложенного» вышеописанным образом из трех снимков, по отдельности сделанных в красном, зеленом и синем цветовых диапазонах. При фотосъемке камера будет сфокусирована для красного цветового диапазона. Таким образом, в зеленом и синем диапазонах снимок получится расфокусированным, а изображения, полученные в этих диапазонах, будут иметь несколько увеличенный масштаб.

Предложенная методика компенсации продольной хроматической аберрации извлекает выгоду из избыточности спектральной информации, присущей изображениям. Однако увеличение резкости расфокусированных цветовых каналов достигается ценой некоторой потери в них цветности на высоких пространственных частотах. Правда, это мало заметно для человеческого глаза, – и аналогичная потеря цветности используется при сжатии изображений в формате JPEG [2].

### Заключение

Таким образом, можно отметить, что данная методика обработки изображений позволяет более эффективно применять недорогие объективы с некомпенсированными хроматическими аберрациями. Благодаря этой методике, можно значительно улучшить качество фотографий, искаженных хроматическими аберрациями.

### Библиографический список

1. Sing Bing Kang. // Automatic Removal of Chromatic Aberration from a Single Image. 2007.
2. Луцив В. Р., Малышев И. А., Недошивина Л. С. Использование эффекта продольной хроматической аберрации для измерения расстояний и компенсация связанных с аберрациями искажений снимка.

УДК 004.6, 004.75

**И. Е. Филиппов**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. В. Шахомиров** – кандидат технических наук – научный руководитель**BIG DATA. ПОСТРОЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА НА ОСНОВЕ RASPBERRY PI**

Hadoop обладает огромным потенциалом и является одним из самых известных проектов для больших данных. В этом руководстве мы установим и настроим кластер Hadoop с помощью Raspberries. Наш кластер будет состоять из трех узлов (один ведущий и два ведомых).

Поскольку у Raspberries низкая цена, а Hadoop является открытым исходным кодом, вместе они предоставляют прекрасную возможность всем, кто хочет начать работать с большими данными. Мы будем настраивать кластер с рабочей станции Linux, и будем работать исключительно с командной строкой Linux.

Создаем каталоги установки Hadoop и HDFS (распределенной файловой системы Hadoop). В нашем примере мы выбрали `/opt/hadoop` в качестве каталога установки и `/opt/hadoop_tmp` в качестве пути, который будет использоваться HDFS:

```
sudo mkdir /opt/hadoop
sudo mkdir /opt/hadoop_tmp
```

Поскольку Hadoop требует наличия Java на всех узлах кластера, надо убедиться, что Java есть на всех компьютерах, если нет – то установить ее.

Необходимо, чтобы у каждого Raspberry был свой IP-адрес, и чтобы они могли без проблем подключаться друг к другу. Чтобы упростить нашу работу, будем использовать псевдоним для каждого узла, который добавим в файл `/etc/hosts` на каждой Raspberry. Пример такого файла:

```
192.168.0.200 master
192.168.0.201 slave-01
192.168.0.202 slave-02
```

Следующим важным шагом является генерация и репликация ключей SSH. Нам нужны все Raspberries, чтобы иметь возможность общаться друг с другом без запроса паролей. Для этого мы сгенерируем ключи SSH на master:

```
ssh-keygen -t rsa -b 4096 -P ""
```

А затем скопируем ключи для всех Raspberries, чтобы у каждого микрокомпьютера были все ключи SSH всего кластера.

```
ssh-copy-id pi@master
ssh-copy-id pi@slave01
ssh-copy-id pi@slave02
```

namenode – это наш главный узел. Подчиненные узлы называются datanode. Мы установим Hadoop на наш namenode и выполним его настройку. Получим базовую конфигурацию. Затем скопируем базовую конфигурацию на оставшиеся узлы кластера. С сайта Apache Hadoop скачиваем и устанавливаем [1] последнюю версию пакета Hadoop.

Теперь необходимо скопировать настроенную базовую конфигурацию командой `rsync`, которая выполнит синхронизацию файлов и каталогов основного узла master с подчиненными узлами slaves:

```
rsync -avxP /opt/hadoop/ pi@slave01:/opt/hadoop/
rsync -avxP /opt/hadoop/ pi@slave02:/opt/hadoop/
```

Далее требуется изменить файлы конфигурации `core-site.xml`, `hdfs-site.xml`, `yarn-site.xml` и `mapred-site.xml`, как указано в [2].

После всех сделанных манипуляций, перезагружаем все компьютеры кластера и переходим к проверке работоспособности настроенной конфигурации.

Есть несколько способов убедиться, что все работает правильно.

- Первый способ. В браузере, на странице `http://master:50070` или `http://master:8088` можно увидеть отчеты о состоянии кластера. В главном узле должны быть как минимум 3 процесса: NameNode,

SecondaryNameNode и ResourceManager. В ведомых узлах должны быть только два процесса: NodeManager и DataNode.

- Второй способ. Использовать команду `hdfs report`, которая покажет отчет о состоянии всех узлов кластера: `/opt/hadoop/hadoop/bin/hdfs dfsadmin -report`

Теперь можно провести тесты, чтобы убедиться, что все работает правильно.

Для этого требуется загрузить файлы с данными с локальной файловой системы на распределенную файловую систему кластера HDFS. Для примера возьмем файл лицензии `license.txt`:

```
hadoop dfs -copyFromLocal /opt/hadoop/LICENSE.txt /license.txt
```

Запускаем пример с подсчетом слов в файле

```
hadoop jar /opt/hadoop/hadoop-examples-1.2.1.jar wordcount /license.txt /license-out.txt
```

По завершении увидим статистику о работе. Можно скопировать файл с результатами из HDFS в локальную файловую систему:

```
hadoop dfs -copyToLocal /license-out.txt ~/
```

Открываем файл `~/license-out.txt` в любом текстовом редакторе, чтобы увидеть результат: все слова из файла `license.txt` и количество их вхождений.

Как итог, Hadoop – очень мощный инструмент для обработки больших данных. Установка и настройка Hadoop не сложна, но необходимо уделять пристальное внимание многим тонким моментам настройки конфигурации, особенно ключам SSH.

Очевидно, что крошечные Raspberry не обладают той же мощностью, что и более дорогие решения, но создание кластера с их помощью довольно доступно, поэтому они являются идеальным решением для студентов, небольших групп и проектов, которые не требуют дорогого и мощного оборудования.

### Библиографический список

1. Jonas Widriksson. Raspberry Pi Hadoop Cluster. 2014. URL: <http://www.widriksson.com/raspberry-pi-hadoop-cluster/> (дата обращения: 10.03.2019).
2. Alan Verdugo. Building a Hadoop Cluster with Raspberry Pi. Installing, Configuring and Testing a Distributed Storage and Processing Cluster with Single-Board Computers. 2017. URL: <https://developer.ibm.com/recipes/tutorials/building-a-hadoop-cluster-with-raspberry-pi/> (дата обращения: 10.03.2019).

УДК 004.93

**Н. А. Цариков**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Р. Луцив** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ОБНАРУЖЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ПОВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТА****Введение**

Область компьютерного зрения является молодой разнообразной и динамично развивающейся. И технология распознавания объектов на изображениях уже стала неотъемлемой составляющей различных сферах современного общества. Смартфоны, интерфейсы с жестовым управлением

банальные системы видеонаблюдения, в которых камера следит за определенным участком, также крупную нишу занимают беспилотные автомобили, технология «умный дом», позволяющая управлять различными устройствами дистанционно, и предотвращать или оповещать о различных угрозах с помощью камер. Эти и многие другие технологии существенно облегчают жизнь человека.

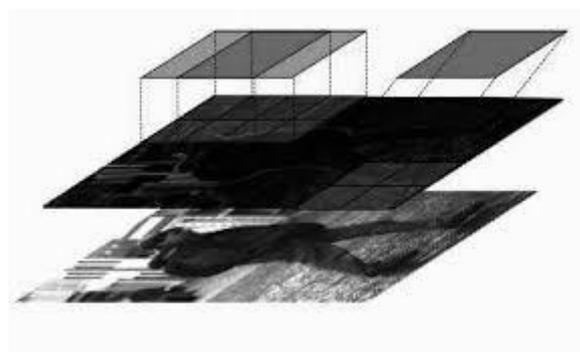
В рамках данной работы я ознакомлюсь с актуальными технологиями компьютерного зрения, для решения проблемы по обнаружению критических ситуаций поведения пациентов. Для создания подобной системы необходимо выбрать прототип уже готовой системы, и адаптировать его для решения данной задачи.

**Задача детектирования объектов (пациентов) и подходы к ее решению**

Одним из наиболее популярных и перспективных на настоящий момент подходов к детектированию объектов на изображении является, так называемый, метод бегущего окна. Данный метод основан на осуществлении экстенсивного поиска объектов определенного размера в пикселях. Последовательно рассматриваются области изображения заданного размера, им ставится в соответствие признаковое описание, на основе которого с помощью алгоритма классификации принимается решение, содержит ли данная область объект или нет. Ключевыми компонентами системы детектирования, основанной на таком подходе, являются алгоритмы получения признакового описания изображения и его классификации. Одним из наиболее популярных признаковых описаний, является HOG-дескриптор (Histogram of Oriented Gradients), гистограмма ориентированных градиентов), изначально разработанный для решения задачи детектирования пешеходов [1], однако этот алгоритм станет хорошей основой для моего детектора по обнаружению состояния пациентов.

**HOG признаки**

Основная идея, лежащая в основе HOG (рис. 1), заключается в том, что внешний вид и форма части объекта могут быть достаточно хорошо описаны распределением градиентов интенсивности пикселей, соответствующих данной части, без точной информации о градиентах в каждой точке [2].



*Рис. 1. Схема формирования HOG признака. Градиенты, вычисленные на входном изображении (синего цвета) дискретизируются в гистограммы по ячейкам (жёлтого цвета). Ячейки группируются в перекрывающиеся между собой блоки (зелёного цвета). Конкатенация всех гистограмм всех блоков внутри окна образует итоговый вектор признаков*



**Библиографический список**

1. Dalal N., Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2005. Vol. 1. P. 886–893/
2. Histograms of Oriented Gradients. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram\\_of\\_oriented\\_gradients](https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_of_oriented_gradients) (дата обращения: 15.03.2019).
3. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV 3. 2016. P. 87–116.
4. Felzenszwalb P. F. et al. Object Detection with Discriminatively Trained Part Based Models / P. F. Felzenszwalb, R. B. Girshick, D. McAllester, D. Ramanan // Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2010. Vol. 32. No 9. P. 1627–1645.
5. Dalal N., and Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. P. 3–4.

УДК 004.274

**Е. Ю. Таранова, Л. В. Шатунов**

студенты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Н. Иванов** – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

## ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОЙ ЧАСТЬЮ РАДИОТЕРМИНАЛОВ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ТИПОМ ДОСТУПА

Существуют различные интерфейсы для управления радиочастотной частью на многих устройствах. Целью этой работы является проведение сравнительного анализа существующих интерфейсов для радиотерминалов с множественным типом доступа.

DigRF это стандарт цифрового интерфейса, разрабатываемый и поддерживаемый альянсом MIPI (Mobile Industry Processor Interface), который позволяет соединить радиопередатчик мобильного устройства с радиоспектром.

DigRF специально был разработан для быстро развивающегося спектра новых мобильных технологий. Это высокоскоростная технология последовательного интерфейса, поддерживающая различные режимы, которые обеспечивают хорошую энергоэффективность и высокую скорость передачи сигнала. Широкий диапазон моделей разработки и их применения – неотъемлемая часть этого стандарта, в связи с чем он предлагает различные возможности для системных разработчиков.

При разработке интерфейса MIPI руководствовались следующими критериями:

- минимизация количества контактов интерфейса;
- минимизация общего энергопотребления интерфейса;
- обеспечение надежного физического уровня путём обнаружения и исправления ошибок;
- обеспечение достижения совместимости интерфейса между RFIC (Radio Frequency Integrated Circuit) разных производителей и радиоплатформой.

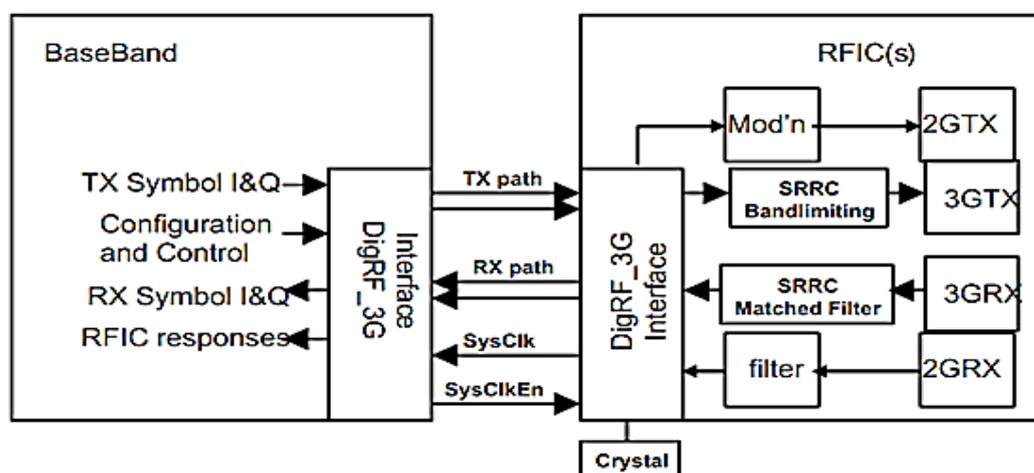


Рис. 1. Схема DigRF

Интерфейс встраивается между RFIC и радиоплатформой, реализован и специфицирован на физическом уровне. DigRF работает на основе деления сигнала приема и передачи информации на синфазную (I) и квадратурную (Q) составляющую.

Интерфейс представляет собой последовательную шину данных с шестью каналами: два для Rx (приема) I/Q данных, два для Tx (передачи) I/Q данных, один для тактового сигнала, и один для синхронизации. Каналы приема и передачи работают на технологии LVDS – низковольтной дифференциальной передачи сигналов. Также сигналы, в зависимости от их типа, при приеме или передаче проходят различную обработку, например, через SSRC (square-root-raised-cosine) фильтр

Подводя итог обзора интерфейса DigRF можно отметить следующие особенности:

- Интерфейс специфицируется на нижнем уровне;

- Реализованы только функции приема и передачи и их синхронизации;
- Позволяет добиться высокой скорости передачи и приема.

С быстрым развитием программных и аппаратных возможностей появляется проблема обновления устаревших технологий систем радиосвязи, так как для их замены необходимо модифицировать аппаратную платформу, как, например, в случае с DigRF, где под каждую новую технологию разрабатывается новый интерфейс. Для решения этой задачи институтом ETSI началась разработка реконфигурируемых радиосистем, и, в частности, реконфигурируемого мобильного устройства.

RRFI (Reconfigurable Radio Frequency Interface) это цифровой интерфейс, работающий в составе RRS (Reconfigurable Radio System) и обеспечивающий связь мобильного устройства с радиоплатформой и её настройку.

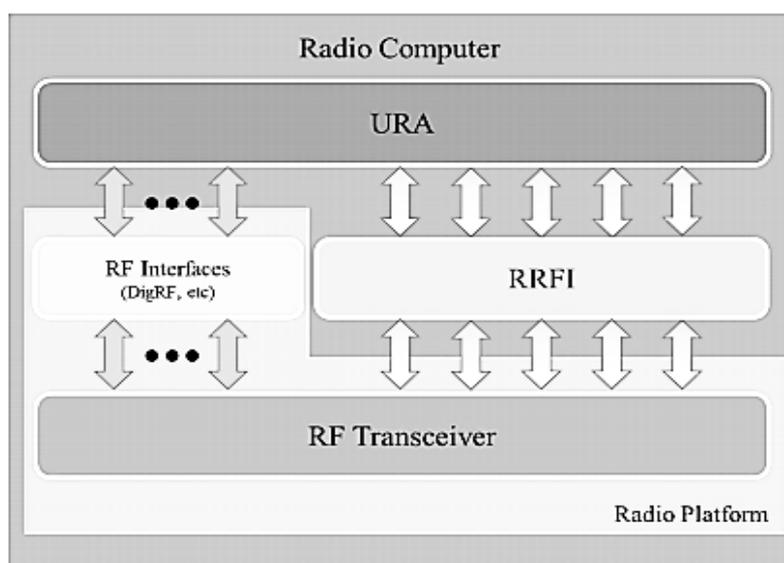


Рис. 2. Схема расположения интерфейса RRFI в RMD

На рис. 2 представлена часть архитектуры RRS на основе реконфигурируемого мобильного устройства. RRFI встраивается между двумя компонентами системы: радиоплатформой, которая работает с радиоспектром и URA (Unified Radio Application), которое отвечает за настройку радиоплатформы и подготовку данных для передачи.

RRFI реализуется на высоком уровне и дополняет собой низкоуровневый интерфейс DigRF, рассмотренный ранее, функциями управления и обслуживания радиоплатформы. Он включает в себя следующие сервисы:

- Контроль спектра, который настраивает такие параметры как: несущая частота, полоса пропускания, частота дискретизации и т. д.;
- Управление мощностью: максимальный уровень мощности передачи (Tx), уровень мощности Tx на антенну, коэффициент усиления приема;
- Управление антеннами, эта служба используется для настройки конфигурации антенны;
- Управление цепочками Tx/Rx: подразумевает в себе управление началом и концом времени приема и передачи.

На сегодняшний день существует только спецификация RRFI, которая описывает функции и взаимодействие интерфейса, и к сожалению, он практически не реализован на практике.

В настоящее время этот интерфейс исследуется и имплементируется на базе радиоплатформы USRP B210, которая имеет большой спектр возможностей взаимодействия с радиоспектром, таких как: 2 полнодуплексных MIMO (Multiple Input Multiple Output) антенны, расширенная полоса пропускания 70 MHz – 6 GHz, API (Application Programming Interface) с открытым исходным кодом упрощающий взаимодействие с платформой.

Преимущества и недостатки DigRF и RRFI интерфейсов представлены в таблице.

**Преимущества и недостатки интерфейсов DigRF и RRFI**

Интерфейс	Преимущества	Недостатки
DigRF	Высокоскоростной Реализован на практике	Ограниченное количество функций Реализован на физическом уровне, что усложняет его тестирование, обновление и настройку
RRFI	Большое количество функций по настройке радиоплатформы Реализуется на высоком уровне, что позволяет проводить легкую настройку и обновление	Практически не имеет имплементаций

**Библиографический список**

1. DigRF Dual-Mode 2.5G / 3G Baseband / RF IC Interface Standard // DigRF Working Group. V. 3.09. 2006. P. 17–19.
2. Reconfigurable Radio Systems (RRS). Radio Reconfiguration Related Architecture for Mobile Devices // ETSI EN 303 095 V1.3.1. 2017. P. 10–11.
3. Reconfigurable Radio Systems (RRS). Mobile Device Information Models and Protocols. Part 2: Reconfigurable Radio Frequency Interface (RRFI) // ETSI EN 303 146-2 V1.1.5. 2016. P. 9–10.

УДК 004.032.26

*М. А. Михалькова, В. О. Ячная*

студенты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

*Е. Н. Яблоков* – старший преподаватель – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ОДНОРОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Схематично, сверточная нейронная сеть (рис. 1) – это последовательность вычислительных слоев [1]. Для организации сверточной нейронной сети применяется 3 основных слоя: слой свертки, слой пулинга (pooling layer), иначе подвыборки или субдискретизации и полносвязный слой.

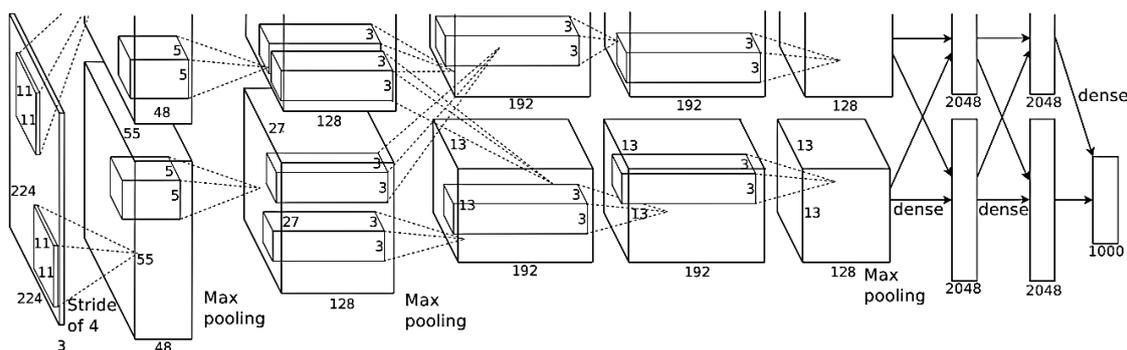


Рис. 1. Структура сверточной нейронной сети

Входной слой сети работает с цветными изображениями и имеет 3 подслоя: для красного, зеленого и синего цвета. Нейроны следующего слоя соединены не каждый с каждым, а с локальной областью, что позволяет работать с отдельными деталями. Локальная область – это область, к которой подсоединены настраиваемые связи нейрона. Внутри локальной области – рецептивное поле (детекторы текселов) нейрона. Настраиваемые связи образуют фильтр, который подстраивается на узнавание фрагмента определенного класса. Например, на первом уровне это части контуров, а на следующем уровне из них формируются абстракции более высокого уровня.

Каждый нейрон сверточного слоя имеет фильтр (матрицу свертки), например, для узнавания кусочка ориентированной линии, и следующие нейроны в этом подслое имеют такой же фильтр. То есть нейроны, находящиеся на поверхности этой многослойной структуры, все ориентированы на узнавание одного подобъекта, и поэтому она называется сверточной сетью. Фильтр, предназначенный для одних и тех же подобъектов, передвигается по всей плоскости изображения, возвращая результат от математической операции, называемой сверткой. Суть операции свертки в том, что происходит поэлементное умножение каждого фрагмент изображения на матрицу (ядро) свертки, и результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного нейрона.

Нейроны во втором подслое соединены такими же связями, но имеют свой фильтр, для распознавания другого класса. Например, для узнавания горизонтально ориентированного отрезка.

Такая стопка из 48 подслоев позволяет выделять в том же локальном окошке большое количество простых элементов, причем одинаково по всей поверхности изображения.

Результат обработки одним ядром свертки формирует карту признаков.

Чем глубже уходим в сеть, тем больше информации об исходном изображении попадает в поле зрения каждого нейрона.

Отдельно распишем слой субдискретизации. На выходе каждого слоя используется операция подвыборки (пулинг). Пулинг – это объединение информации, т.е. выбор максимального значения с соседних элементов. Локальные части выходного слоя анализируют, какой нейрон имеет наивысшую активность, и таким образом снижается размерность от слоя к слою. За счет этого элементы сети на

более глубоких слоях охватывают наиболее значительные части исходного изображения. Субдискретизация нужна для обеспечения инвариантности к масштабу.

В конце сети находится 3 полносвязных слоя, в которых нейроны связаны со всеми нейронами предыдущего слоя. Таким образом, на вход сверточной нейронной сети подается изображение, а на выходе получаем класс, к которому принадлежит изображение.

Основным преимуществом нейронных сетей над обычными алгоритмами вычисления является их возможность обучения. Обучение сети заключается в нахождении верных коэффициентов связи между нейронами. А также в выявлении сложных зависимостей между входными и выходными сигналами. Если система будет способна выявить верный результат на основании данных, отсутствующих в обучающей выборке, то обучение нейронной сети будет удачным.

Стандартный метод обучения искусственной сверточной нейронной сети является алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation). В ходе обучения этим алгоритмом многократно осуществляется два прохода по всей сети: прямой и обратный. В результате, вычисляется функция потерь и настраиваются веса.

Для исследования работы нейронной сети было выбрано два класса объектов: коты и собаки.

В качестве архитектуры была использована сеть AlexNet [2]. Сеть включает в себя слои свертки, слои пулинга, дропаут, функции активаций ReLU и стохастический градиентный спуск.

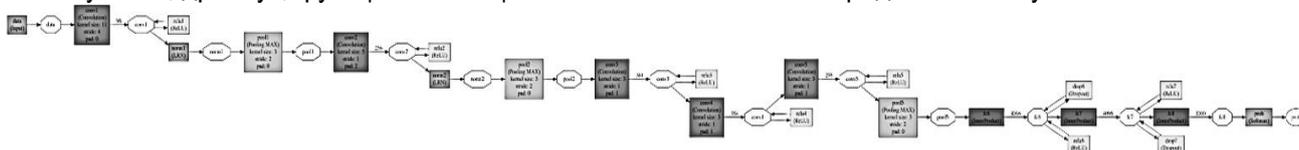


Рис. 2. Архитектура сети AlexNet

Обучение происходит с учителем – это основной подход к обучению сети для классификации изображений, где сеть получает обучающие примеры. Каждому изображению присвоена метка, указывающая, к какому классу оно относится. Например, классу коты соответствовала метка 0, классу собак – 1.

Используется библиотека изображений MNIST, содержащая 6000 изображений для обучения, по 3000 изображений на каждый класс.

В связи с тем, что была достаточно высокая ошибка при классификации изображений, которые относятся к классу котов, было проведено два эксперимента. В первом было выбрано соотношение обучающей выборки 50 / 50, а во втором – 448 / 552, т.е. 3000 изображений для первого класса (собаки) и 3700 для второго класса (коты).

Результаты тестирования выводятся в терминал как показано на рис. 3.

```

user@user@Presario-CQ56-Notebook-PC:~/projects/python4eg/p3$ ./script
1
----- Prediction for ./dataset/train/cat.1.jpg -----
0.5586 - "0 cat"
0.4414 - "1 dog"
----- Prediction for ./dataset/train/dog.1.jpg -----
0.8657 - "1 dog"
0.1343 - "0 cat"
2
----- Prediction for ./dataset/train/cat.2.jpg -----
0.5319 - "0 cat"
0.4681 - "1 dog"
----- Prediction for ./dataset/train/dog.2.jpg -----
0.7605 - "1 dog"
0.2395 - "0 cat"
    
```

Рис. 3. Результаты тестирования

```
good:
('cat = ', 70)
('dog = ', 77)
bad:
('cat = ', 30)
('dog = ', 23)
```

*Рис. 4. Результат первого эксперимента.*

```
good:
('cat = ', 85)
('dog = ', 79)
bad:
('cat = ', 15)
('dog = ', 21)
```

*Рис. 5. Результат второго эксперимента*

Для тестирования было использовано в 200 изображений, по 100 изображений на каждый класс. На рис. 4 представлены результаты, где 70 из 100 изображений котов и 77 из 100 изображений собак было правильно классифицировано сетью. Тогда как результаты классификации, показанные на рис. 5: опознано 85 из 100 котов и 79 из 100 собак. В итоге видно, что точность сети, полученной во втором эксперименте, повысилась.

Следовательно, ввиду предположения, что предназначенная для обучения выборка по одному из классов (котов) оказалась недостаточно велика, было верным решение дообучить сеть на большом количестве изображений котов.

Возможные причины не столь точной классификации в первом эксперименте могут заключаться в следующем: малое время обучения (а именно 45000 итераций, тогда как стандартное количество 450000), состоящий из небольшого количества изображений датасет, в котором представлено несколько пород животных, сфотографированных с различных ракурсов.

### **Библиографический список**

1. Сикорский О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. № 17. С. 37–42.
2. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton, Geoffrey E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Communications of the ACM, 2017. P. 84–90.

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

## Безопасность информационных систем

УДК 004.021, 004.67

**Н. А. Боровков, Ф. И. Фурев**

магистранты кафедры безопасности информационных систем

**А. В. Сергеев** – старший преподаватель – научный руководитель

### АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ТОНАЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ ELMo

Каждый день в мире формируется огромное количество информации, весомую часть из которой занимает текстовая информация, и ее использование могло бы принести большую пользу. В связи с этим в области машинного обучения сформировалось отдельное направление обработки естественного языка (NLP), одной из задач которого является аспектно-ориентированный анализ тональности [1]. Аспектно-ориентированный анализ тональности позволяет не только получать мнение о продукте или заведении, но и о отдельных взятых его характеристиках (аспектах), будь то сервис, цена, цена в ресторане, или экран, жесткий диск, процессор в ноутбуке. В данной работе мы рассмотрим, как влияет использование языковой модели ELMo [2] с механизмом “attention over attention” (AOA) [3] на решение задачи определения тональности аспекта внутри предложения, а так же, сравним точность полученной нами системы с другими подобными системами.

#### Методология

##### Описание задачи

В данной работе будет рассмотрена задача аспектно-ориентированного анализа тональности (ABSA) в области NLP. ABSA делится на три задачи:

1. Выделение аспектов из предложения;

Задача состоит в нахождении аспектов (сущностей) в предложении.

2. Выделение категории аспекта;

Задача состоит в том, чтобы соотнести предложение к одной из категорий аспектов.

3. Определение тональности аспекта.

В данной задаче у нас есть заранее известные аспекты, и мы находим тональность по отношению к нему в предложении.

Далее нами будет рассмотрена задача определения тональности аспекта.

##### Краткое описание ELMo

Embedding Language Model (ELMo) – языковая модель, генерирующая контекстно-зависимые эмбединги.

Эмбэдинг (Embedding) – векторное представление слова, представленное таким образом, чтобы вектор передавал смысл слова.

ELMo представляют собой предварительную генерацию из токенов (токен – слово, отрывок слова или специальный символ, в зависимости от модели) эмбединга, который поступает на два слоя двусторонних LSTM. После, данный эмбэдинг и состояние каждого из слоев сети поступает на вход блока взвешивания. Полученный из этого блока результат и является результатом работы ELMo.

##### Краткое описание AOA

Основная идея механизма “attention” состоит в том, чтобы “обратить внимание” модели на те части предложения, которые наиболее важны для ответа на вопрос, поставленный перед моделью. Это делается путем умножения векторного представления предложения на коэффициенты, размер которых зависит от важности конкретной части предложения для принятия решения.

В этой работе применяется механизм “attention over attention” (AOA) [3], который подразумевает применение “attention” для предложения целиком и для выделенного из него аспекта. После этого результаты обоих выходов “attention” используются для получения вектора AOA, который будет использоваться для “акцентирования внимания” модели на тех частях исходного предложения, которые наиболее важны для определения тональности поданного на вход аспекта.

**Описание предложенной модели**

В данной статье ELMo и AOA используются в связке для решения поставленной задачи. Схема модели изображена на рисунке.

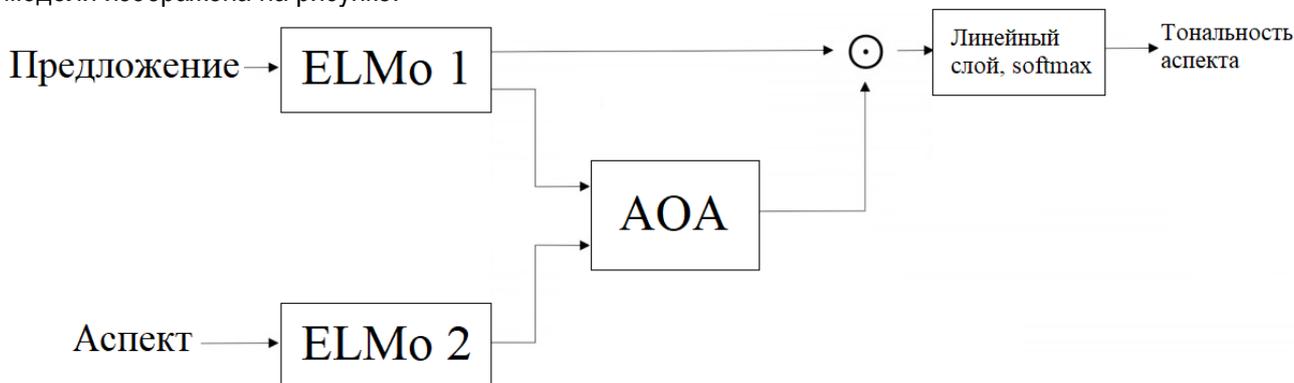


Схема предложенной модели

Изначально предложение поступает на вход одного ELMo, а аспект – на вход второго. Из выходов получаем вектор AOA, который перемножается с выходом первого ELMo (контекстуализированным эмбедингом предложения) и идет на линейный слой и softmax.

Также, был рассмотрен вариант модели, в котором используется один ELMo вместо двух. Предложение и аспект поочередно поступают на вход одного и того же ELMo, а потом на AOA. Все остальные элементы остаются на своих местах. Таким образом, размер модели уменьшается почти в два раза, так как почти все веса модели это веса ELMo. В модели используется предобученная на больших массивах текстов ELMo. Это делается для того, чтобы перед обучением на конкретную задачу модель научилась понимать особенности языка. Во время первого этапа обучения, обучается только линейный слой модели. На этом этапе веса ELMo не участвуют в обучении. Это делается для того, чтобы не потерять эффект от предобученного ELMo.

**Эксперименты**

**Датасет**

Мы проверяем нашу модель на датасете SemEval-2014. Наша задача совпадает с подзадачей 2 четвертой задачи SemEval-2014 [5]. Каждый из примеров внутри датасета состоит из предложения, аспекта и тональности (положительная, нейтральная или отрицательная).

**Результаты**

Ниже приведена таблица результатов предложенной модели, а так же лучших моделей на данном датасете [6].

Таблица

**Результаты**

Модели	Рестораны		Ноутбуки	
	Точность	F1	Точность	F1
AOA (Huang, Binxuan) [4]	81.20	–	74.50	–
Tnet (Li Xin, et al.) [7]	80.79	70.84	76.01	71.47
ELMo + AOA	83.20	73.97	75.71	69.53
ELMo x2 + AOA	83.57	74.56	76.02	70.14

Из результатов таблицы видно, что модели, предложенные в данной статье, дают большую точность, чем модели, используемые в данный момент для этой задачи на датасете SemEval-2014.

### Заключение

В данной статье было предложено несколько моделей для решения задачи определения тональности аспекта. Модели показывают хорошую точность, однако разница между точностью моделей где используется один ELMo и два ELMo невелика, тем не менее, модель с двумя ELMo содержит почти в два раза больше параметров, чем модель с одним. Это означает, что целесообразнее будет использовать модель с одним ELMo, если нет больших ресурсов для вычислений.

### Библиографический список

1. Dohaiha H. et al. Deep Learning for Aspect-Based Sentiment Analysis: A Comparative Review, Expert Systems With Applications / Hai Ha Dohaiha, PWC Prasad, Angelika Maag, Abeer Alsadoon. 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.003> (дата обращения 23.03.2019).
2. Peters M. E., Neumann M. Deep Contextualized Word Representations. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05365.pdf> (дата обращения 23.03.2019).
3. Cui Y., Chen Z. Attention-over-Attention Neural Networks for Reading Comprehension. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1607.04423.pdf> (дата обращения 23.03.2019).
4. Huang B., Ou Y., and Carley K. M. Aspect Level Sentiment Classification with Attention-over-Attention Neural Networks. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1804.06536.pdf> (дата обращения 23.03.2019).
5. Task Description: Aspect Based Sentiment Analysis (ABSA) < SemEval-2014 Task 4. URL: <http://alt.qcri.org/semeval2014/task4> (дата обращения: 12.04.2019).
6. NLP-progress. Repository to Track the Progress in Natural Language Processing. URL: [http://nlpprogress.com/english/sentiment\\_analysis.html](http://nlpprogress.com/english/sentiment_analysis.html) (дата обращения: 12.04.2019).
7. Li X., Bing L. Transformation Networks for Target-Oriented Sentiment Classification. 2018. URL: <https://aclweb.org/anthology/P18-1087> (дата обращения 23.03.2019).

УДК 004.056.2

**Д. А. Зыков, В. С. Марковский**

студенты кафедры безопасности информационных систем

**А. В. Афанасьева** – старший преподаватель – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В УДАЛЁННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

В настоящее время одним из перспективных способов хранения данных является их перенос в удалённые (облачные) системы хранения. Это позволяет организациям уменьшить накладные расходы на содержание и поддержку собственных локальных хранилищ. При этом, одной из самых серьезных проблем облачных систем хранения является их защита от нарушения целостности хранимых данных. Целостность данных может быть нарушена как случайно (например, в случае сбоев аппаратных средств), так и преднамеренно злоумышленником.

Для организаций (или частных лиц), разместивших свои данные в удаленных хранилищах, крайне важно иметь доказательства того, что при хранении, их данные остаются неизменными. Таким клиентам должна быть предоставлена возможность безопасно проверять, что на удаленном сервере хранятся их достоверные данные.

В данной работе проведён сравнительный анализ протоколов доказательства обладания данными по сложности вычислений для клиента и для сервера, по объему передаваемых данных.

Протокол доказательства обладания данными (PDP, proof of data possession) – это протокол, позволяющий клиенту проверить целостность данных файла, хранящегося на удаленном сервере облака. Клиент и сервер обмениваются сообщениями по модели запрос – ответ. Протокол PDP состоит из четырех процедур: предобработка, запрос, подтверждение, проверка. Для построения метаданных файла клиент запускает процедуру предварительной обработки, во время которой, генерируются метаданные, хранящиеся локально. Затем файл отправляется на сервер, и владелец удаляет локальную копию файла. Чтобы проверить владение файлом, клиент посылает случайный запрос к серверу. В ответ, сервер генерирует доказательство. После получения ответа, клиент сравнивает доказательство с локально сохраненным файлом метаданных и выносит решение о целостности хранимых данных.

PDP протоколы делятся на статические и динамические. Статические протоколы не поддерживают операции изменения блоков, и, при необходимости внесения изменений в данные, клиенту необходимо получить от сервера полный набор данных, внести в них изменения, а затем заново запустить процедуру предобработки. Динамические протоколы в зависимости от схемы могут поддерживать некоторые операции динамического внесения изменений.

Рассмотрим три протокола, относящиеся к разным видам, реализующие различные подходы к контролю целостности данных.

S-PDP – статический протокол, основанный на гомоморфных проверяемых метках и алгоритме RSA [1]. Для оценки сложности вычислений данного протокола приведём алгоритм генерации метки  $T_{i,b}$  для блока  $b$  с индексом  $i$ :

1. Пусть  $(N, g) = pk$  и  $(d, v) = sk$ . Генерируем  $W_i = v || i$ ;

2.  $T_{i,b} = (H(W_i)g^b)^d \bmod N$ ;

где  $H$  – хеш-функция,  $pk$  – открытый ключ,  $sk$  – секретный ключ,  $||$  – конкатенация.

Другие процедуры, входящие в данный протокол, по сложности вычисления эквивалентны сложности генерации меток для некоторой выборки блоков. При передаче по каналу связи доказательства, генерируемого сервером, передаются два числа не превышающих  $N$ , где  $N$  – модуль RSA.

Преимущества протокола S-PDP:

- клиент может удостовериться в целостности данных без необходимости получения блоков;
- реализует публичную проверку целостности.

Недостатки протокола S-PDP:

- гомоморфные проверяемые метки, основанные на RSA, занимают относительно много места;
- долгое время генерации меток.

Scalable PDP – динамический протокол, основанный на хеш-функциях и симметричном шифровании [2]. Основной идеей данного протокола является хранение в качестве метаданных заранее рассчитанных ответов сервера на запросы. Для оценки сложности вычислений приведём процедуру генерации метаданных для запроса  $v_i$ :

1.  $c_i = f_z(i), k_i = f_w(i)$ ;
2.  $\{l_j \in [1, \dots, D] \mid 1 \leq j \leq r\}, l_j = g_{k_i}(i)$ ;
3.  $v_i = H(c_i, 1, D[g_{k_i}(1)]) \oplus \dots \oplus H(c_i, r, D[g_{k_i}(r)])$ ,

где  $i$  – индекс запроса,  $z, w$  – ключи клиента,  $H$  – хеш-функция,  $f$  – генератор псевдослучайных чисел,  $g$  – псевдослучайная перестановка,  $D$  – блоки исходных данных.

При передаче доказательства, сгенерированного сервером, в канале передаётся значение хеш-функции, следовательно передаваемое значение не зависит от количества блоков файла.

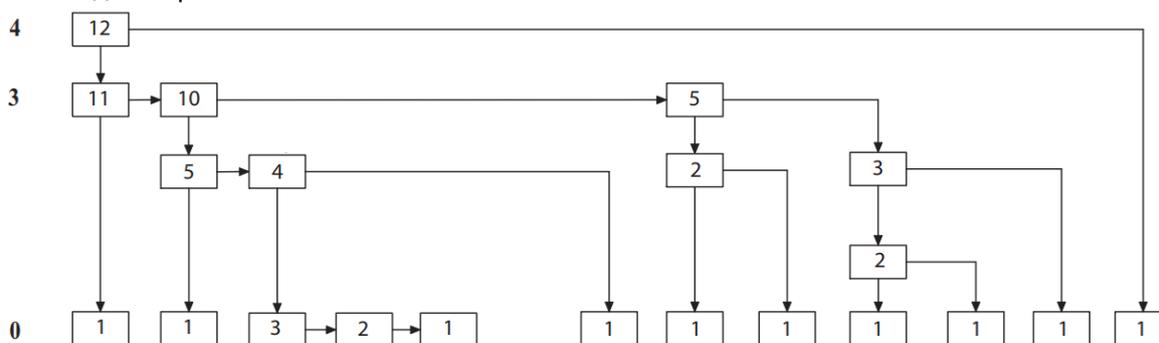
Преимущества протокола Scalable PDP:

- поддерживает эффективные динамические операции над блоками;
- размер метаданных не увеличивается при использовании операций динамического изменения.

Недостатки протокола Scalable PDP:

- число запросов и операций обновления ограничено;
- данная схема не поддерживает операцию вставки блока.

DPDP – динамический протокол, основанный на структуре данных список с пропусками [3]. На рисунке приведён пример списка с пропусками. Исходные блоки находятся на нулевом уровне. Каждый узел содержит ранг – количество блоков данных, которые могут быть доступны из текущего узла, и значение хеш-функции. Для генерации доказательства целостности блока  $i$  необходимо построить путь до начального узла. Следовательно, при передаче доказательства, объём данных зависит от числа блоков исходного файла.



Список с пропусками

Преимущества протокола DPDP:

- поддерживает эффективные операции над блоками, в частности, вставка и удаление;
- поддерживает контроль целостности не только файлов, но и файловых систем.

Недостатки протокола DPDP:

- не поддерживает эффективную проверку блоков по индексу, используемых в качестве выборки.

В таблице приведено сравнение рассмотренных протоколов по сложности вычислений, объёму передаваемых данных и поддерживаемым операциям. Значения сложности вычислений и объёма пе-

редаваемых данных приведены в зависимости от числа блоков данных  $n$ . Символ \* означает, что операция может быть выполнена фиксированное (заданное) число раз.

Таблица

**Сравнение PDP протоколов**

Протокол	Сложность вычислений		Объем данных при передаче	Операции над блоками			
	Сервер	Клиент		Вставка в конец	Изменение	Вставка	Удаление
S-PDP	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	+	-	-	-
Scalable PDP	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	+ *	+ *	-	+ *
DPDP	$O(\log n)$	$O(\log n)$	$O(\log n)$	+	+	+	+

На основе проведенного сравнения можно сделать вывод об эффективности рассмотренных протоколов. При необходимости контроля целостности статических данных в течение долго промежутка времени наиболее эффективным является протокол S-PDP. При необходимости внесения минимальных изменений в данные предпочтительным является использование протокола Scalable PDP. Для контроля целостности файловых систем или файлов, в которые часто вносятся изменения, следует использовать протокол DPDP.

Оценка сложности для протоколов S-PDP и Scalable PDP совпадает, в связи с чем, для дальнейшего сравнения данных протоколов будет проведено тестирование в режиме реального времени с использованием программных реализаций данных протоколов.

**Библиографический список**

1. Ateniese G. et al. Provable Data Possession At Untrusted Stores / G. Ateniese, R. Burns, R. Curtmola, J. Herring et al. Provable // CCS '07: Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security. New York, 2007. P. 598–609.
2. Ateniese G. et al. Scalable and Efficient Provable Data Possession / G. Ateniese, Pietro R Di., L. V. Mancini, and G. Tsudik // Secure Comm '08: Proceedings of the 4th International Conference on Security and Privacy in Communication Networks. New York, 2008. P. 1–10.
3. Wang Q. et al. Enabling Public Verifiability and Data Dynamics for Storage Security in Cloud Computing / Q. Wang, C. Wang, J. Li, K. Ren et al. // ESORICS'09: Proceedings of the 14th European Conference on Research in Computer Security. Berlin, Heidelberg, 2009. P. 355–370.

УДК 347.78:004.738.5

**Д. О. Логашов**

студент кафедры безопасности информационных систем

**А. В. Афанасьева** – старший преподаватель – научный руководитель

## ОБЗОР КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ ПРАВ В МУЛЬТИМЕДИА

Целью данного исследования является обзор существующих программных и аппаратных средств защиты авторских прав в мультимедиа. В рамках данного обзора будут сформулированы достоинства и недостатки рассмотренных средств.

На сегодняшний день проблема защиты авторских прав в мультимедиа является очень актуальной, при этом не существует решений, которые бы полностью удовлетворяли требованиям потребителей. Первым фактором, который очень мешает реализовать качественную и работоспособную систему защиты, является необходимость поддержки работы с мультимедиа контентом на персональном компьютере пользователя. С учётом того, что компьютеры находятся полностью под контролем пользователя, каким-либо образом контролировать действия этого пользователя почти невозможно. Второй проблемой, препятствующей развитию систем защиты авторских прав, является развитие интернета, и как следствие, бесконтрольное распространение медиа-файлов. В этом случае очень трудно отследить есть ли у конкретного пользователя право распространять или скачивать тот или иной контент. Третьим немаловажным препятствием является высокая скорость устаревания и смены программных и аппаратных средств для хранения, эксплуатации и распространения цифрового контента. На текущий момент почти каждый может скопировать содержимое одного диска на другой, используя специальные программы и вполне обычный дисковод. Любители компьютерных игр при необходимости могут создать так называемый образ диска при помощи специальных программ, которые позволяют обойти защиту. При этом с попытками каким-либо образом защитить контент, программные и аппаратные средства, обходящие защиту, также совершенствуются.

В настоящее время технических средств защиты авторских прав (или Digital rights management – DRM), которые в какой-то мере справляются с поставленной задачей, очень мало. В данной работе будут рассмотрены отдельные системы из разных технических областей, которые были разработаны для защиты контента от копирования или неправомерного использования.

Для начала рассмотрим аппаратные решения, которые были предложены для защиты компакт дисков. Данные системы должны обеспечить защиту носителей от копирования и воспроизведения незаконно скопированных данных.

Первым методом является нанесение на диск не копируемых меток. Этот метод основан на том, что на диске есть области, на которые не может писать записывающий привод. При запуске диска программа воспроизведения считывает информацию из этих областей и определяет, является ли диск скопированным или нет.

Вторым методом является создание так называемых «твин-секторов». При реализации этого метода учитывается, что диск поделен на сектора (рис. 1), которые содержат в себе последовательно идущие питы (рис. 2), а сектора в свою очередь имеют номера.

При этом сектора по стандарту не могут иметь одиночного номера. Поэтому при изготовлении диска создавались специально сектора с одинаковыми номерами, в которые писались разные данные.

И ещё один метод, который является наиболее простым в реализации – это привязка к топологии диска. В этом случае замеряется время чтения между двумя последовательными секторами. Для разных пар секторов это время будет разным. Последовательно замерив время между прочтением этих секторов, можно составить топологию диска. После чего полученная геометрия диска шифруется в ключ, записывается на диск и в дальнейшем используется для проверки диска как эталонные данные. Если во время воспроизведения диска измерения совпали с эталонными значениями, то проверка считается успешно пройденной.

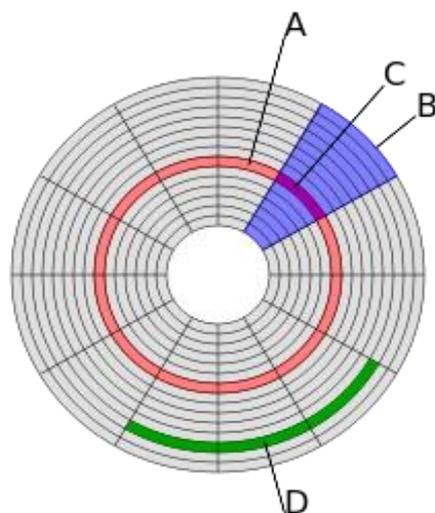


Рис. 1. Сектор диска помечен как C

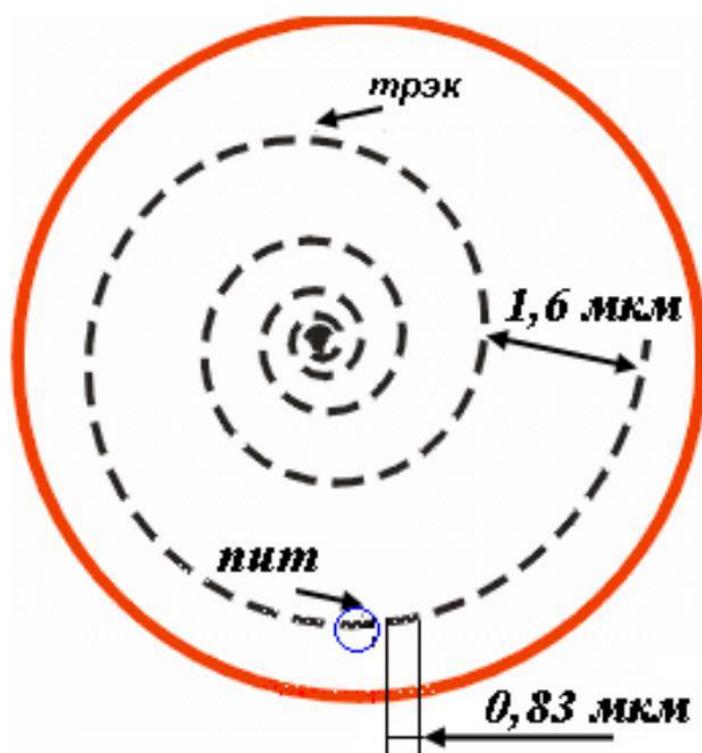


Рис. 2. Записанный на диск трек

Также существует модернизация предыдущего метода, при котором топология диска изменяется при производстве, что позволяет создавать большее пространство уникальных ключей.

У всех рассмотренных систем есть существенные недостатки. Один из них связан с природой носителя. Записанный ключ, при каких-либо механических повреждениях диска или при его интенсивном использовании, может быть повреждён, из-за чего диск вместе с записанной на него информацией придут в негодность. Также стоит отметить, что предложенные методы не позволяют защищать контент в сети интернет. И ещё одним недостатком является то, что для реализации некоторых методов необходимо специальное оборудование. При этом итоговые затраты на изготовление такого носителя не всегда оправданы, учитывая записанную на диски информацию.

Далее рассмотрен метод, который является программно-аппаратным. Он предполагает жёсткий контроль пользователя при использовании дисководов.

Компания Sony при производстве собственных музыкальных дисков добавляла на носитель программу Extended Copy Protection (XCP). Эта программа включала в себя руткит (rootkit). При запуске диска программа в скрытом режиме устанавливалась на компьютер, при этом пользователей о ней совсем не знал. Это осуществлялось путём встроенного механизма, который полностью скрывал от пользователя присутствие программы в системе. После установки этой программы она осуществляла контроль, не позволяя другим программам обращаться к дисководу и хранимым на диске данным.

Одним из недостатков являлось то, что пользователь не мог самостоятельно удалить установленную программу. При попытках это сделать нарушалась работа всего дисковода, так как программа перезаписывала некоторые данные реестра. Но главным недостатком такого решения было то, что инструмент, который позволял скрыть от пользователя XCP, был использован некоторыми вирусами, тем самым позволяя им скрывать и своё присутствие.

На сегодняшний день компакт дисками почти никто не пользуется, а современные эмуляторы и дисководы способны создавать и копировать данные без каких-либо проблем, игнорируя любую защиту.

Дальше будут рассмотрены средства, которые позволяют осуществлять контроль аудио-контента в интернете. Данные решения позволяют «диктовать» свои условия использования файлов пользователям. Как правило, такие системы используют специфичные форматы, которые содержат в себе зашифрованные данные и не позволяют воспроизвести содержимое без специального ключа.

Первая система называется PlaysForSure от компании Microsoft. Эта система включает в себя комплекс функций, одной из которых была DRM. Данная система работает с файлами формата Windows Media Audio (WMA). В этой системе присутствует лицензия, которая содержит ключ для декодирования файла и содержит в себе инструмент для наложения ограничений на использование файла.

Также стоит рассмотреть решение компании Apple. Система, которую они предоставляют, называется FairPlay. Данная система работает с mp4 контейнерами. Данный контейнер содержит звуковой поток в формате Advanced Audio Coding (AAC), который зашифрован алгоритмом AES. Также в этом контейнере зашифрован ключ (Master key), который необходим для расшифровки звукового потока. Для получения доступа к этому ключу пользователь должен авторизоваться в сервисе Apple (iTunes), после чего, при успешной аутентификации, доставляется ключ пользователя (User key), который позволяет расшифровать Master key.

Одним из недостатков системы FairPlay является то, что приобретённый контент можно воспроизводить только на продукции Apple. В тоже время на пользователя накладываются сильные ограничения по количеству устройств, на которые возможно распространить файлы. Из-за всех накладываемых ограничений, помимо количества устройств, пользователям было проще скачать нелегальные копии. А снять защиту можно было просто путём создания резервной копии диска, на который были записаны файлы без DRM и после этого снова скопировать файлы обратно на устройство. Понимая, что ограничения приносят людям дискомфорт, а методы, которые с лёгкостью обходят защиту постоянно развиваются, было принято решение об отказе Apple от DRM в аудио-файлах в 2009 году.

Ещё одна проблема, которая может проявиться при воспроизведении контента – это перехват потока. Компания Intel предпринимала попытки создать систему, позволяющую предотвратить перехват цифровых данных третьим лицом. Эта система называлась High-bandwidth Digital Content Protection (HDCP). Данный протокол работает с интерфейсами DVI и HDMI. Основной целью протокола является предотвращение передачи нешифрованных данных. Данная система содержит протокол аутентификации, который не позволяет нелицензированным устройствам получать высококачественный контент. Шифрование данных предотвращает копирование и подслушивание между источником и приёмником. Для обмена данными устройства имеют 40 ключей, а также уникальный key-selection vector (KSV), которые они получают от организации DCP LLC. В каждом KSV ровно 20 бит равны 1 и 20 равны 0. При аутентификации приемник и передатчик обмениваются своими KSV. В соответствии с полученными данными суммируют имеющиеся у них ключи в соответствии с битами KSV. В результате данной операции оба устройства получают одинаковые 56-битные числа. Это число в дальнейшем используется для шифрования.

При использовании данной системы могут возникнуть проблемы, при использовании нескольких приёмников, так как для общения с каждым приёмником источник должен иметь соответствующие ключи. Также одним из ощутимых недостатков данной системы является то, что из-за процедур шифрования/дешифрования может возникать задержка отклика.

Для приведенного варианта шифрования был получен Master key, который позволял генерировать ключи устройств, для аутентификации без обращения к DCP LLC. После этого было принято решение обновить версию данного протокола с использованием шифра AES и операции XOR. Этот факт позволял злоумышленнику расшифровать ключ устройства ( $K_m$ ) путём повторной отправки только уже зашифрованного ключа. Так как использовалась операция XOR, то на приёмнике имелось  $E(E(K_m)) = K_m$ .

На примере аудио-контента видно, что очень сложно совмещать удобства пользователя и систему защиты авторских прав в мультимедиа. Также очевидным фактором является то, что без единых стандартов разные DRM будут несовместимы между собой, что влечёт за собой очередные неудобства. И тот факт, что рабочее место и сам контент находятся на стороне пользователя, не позволяет осуществлять контроль должным образом. Несмотря на все недостатки рассмотренных систем, нельзя сказать, что нужно отказываться от DRM. Скорее всего, для лучшего внедрения таких систем необходимо смягчить требования для пользователя, а также предоставить ему комфортные условия при использовании таких систем.

Проанализировав рассмотренные системы можно попробовать выдвинуть набор технических требований для разработки подобных систем DRM для аудиофайлов:

- Самым надежным способом защитить файл от копирования является его шифрование, чтобы сами по себе скопированные данные не имели ценности.
- Необходимо, чтобы система работала в режиме «офлайн», чтобы в наименьшей степени мешать пользователю.
- Ключ должен предоставляться пользователю на основе его идентификационных данных, чтобы избежать безнаказанного распространения своей копии ключа.

#### Библиографический список

1. Дорожин А. DRM, или управление цифровыми правами. URL: [HTTPS://MOBILE-REVIEW.COM/MP3/ARTICLES/DRM.SHTML](https://mobile-review.com/mp3/articles/drm.shtml) (ДАТА обращения: 21.03.2019).
2. Колюбакин В. ТелеСпутник. 2015. С. 18–20.

УДК 004.056.5

**П. П. Недошивин**

студент кафедры безопасности информационных систем

**А. А. Овчинников** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ**

В настоящее время все больше и больше конфиденциальных данных передается в облако для хранения и дальнейшего использования. Поскольку облачным серверам нельзя доверять с точки зрения безопасности, информация должна храниться в зашифрованном виде для защиты конфиденциальности. Однако шифрование данных в обычной схеме шифрования сводит на нет преимущества облачных вычислений. Использование данных (поиск и выполнение операций) становится чрезвычайно сложным. С помощью полностью гомоморфных схем можно безопасно и эффективно использовать информацию, хранящуюся в облаке. Они позволяют каждому выполнять произвольные операции над зашифрованными данными, не зная секретного ключа для расшифрования. Данная статья является обзором гомоморфных систем шифрования, в ней проводится сравнительный анализ сложности схем, появившихся в печати в последние годы.

Гомоморфное шифрование является формой шифрования, позволяющей осуществить определённую алгебраическую операцию над открытым текстом посредством выполнения этой же операции над зашифрованным текстом. Обычная система шифрования описывается следующими операциями: генерация ключей, шифрование, расшифрование. Для гомоморфной системы требуется также описание операции вычислений. Примерный алгоритм работы системы можно представить так. Клиент генерирует открытый и секретный ключи (*keygen*); клиент шифрует открытый текст и отправляет шифротекст и открытый ключ на сервер (*encrypt*); сервер получает функцию *F*, использует ее и открытый ключ для выполнения вычислений над шифротекстом, отправляет результат клиенту (*eval*); клиент расшифровывает полученное значение с помощью секретного ключа (*decrypt*).

Где следует использовать такое шифрование? Одна из областей применения – облачные вычисления. Гомоморфное шифрование открывает новые возможности по сохранению целостности, доступности и конфиденциальности данных при их обработке в облачных системах. С его помощью пользователь сможет безопасно извлекать информацию из поисковых систем и систем хранения данных: запросы будут обрабатываться и выдавать результат, но при этом не будет сохраняться содержание самих запросов. Гомоморфное шифрование позволяет участникам оставаться анонимными. Это свойство может применяться в такой области общественной жизни, как электронное голосование. Система сможет зашифровать голоса избирателей и провести расчёты над зашифрованными данными, сохраняя анонимность избирателей.

В настоящее время актуально использование такого класса систем, как полностью гомоморфные, т. е. обладающих мультипликативным и аддитивным гомоморфизмом:  $D(E(m_1)E(m_2)) = m_1 \cdot m_2$ ,  $D(E(m_1)E(m_2)) = m_1 + m_2$ . Так как операции сложения и умножения формируют функционально полный базис, следовательно, становится возможным вычислить любую функцию.

Первой стала модель Джентри, созданная в 2009 году [1]. Криптосистема, основанная на криптографии на решетках, позволяет построить кольца для реализации любых произвольных вычислений. При операциях сложения и умножения над шифротекстом растёт некоторый шум. Джентри с помощью перешифрования смог убрать и провести по крайней мере ещё одну операцию. Он показал, что любая «гибкая» (способная вычислить функцию расшифрования) схема может быть конвертирована в полностью гомоморфную с помощью рекурсивного встраивания в себя саму. Защищённость своей схемы Джентри обосновал двумя проблемами: проблемой сложности решения задач на идеальных решетках и проблемой суммы подмножеств.

Первая попытка реализовать схему Джентри была сделана в 2010 году Смартон и Верткаутереном [2]. Они использовали идеальные решетки для простого определителя, которые представили с помощью двух целых чисел. Секретный ключ являлся одним целым числом. Для работы с целыми числами достаточно использовать теорию конечных полей. Схема использует простые идеалы. Авторы

утверждали, что секретный ключ злоумышленнику невозможно получить и что шифрование является односторонним (невозможно получить открытый текст). Одностороннее шифрование доказывается задачей сомножеств многочленов.

В 2011 году Крейг Джентри вместе с Шаем Халеви представил практическую реализацию для полностью гомоморфной схемы шифрования [3]. Основная оптимизация состоит в методе генерации ключей для основного относительно гомоморфного шифрования, не требующем полной инверсии многочленов. Это снижает асимптотическую сложность от  $O(n^{2,5})$  до  $O(n^{1,5})$  при работе с  $n$ -размерными решетками (и на практике сокращает время расчетов от многих часов до нескольких минут). Авторы убрали обязательное условие, что определитель решетки должен быть простым, и улучшили технику сжатия дешифрования. Защищенность своей схемы Джентри обосновал двумя проблемами: проблемой сложности решения задач на идеальных решетках и задачей о сумме подмножеств, которые являются NP-полными.

В 2010 году группа авторов: Ван Дейк, Джентри, Халеви и Ваикунтанатан представили упрощенную гомоморфную схему DGHV на основе идей Джентри: функция Bootstrapping использует не решетки над кольцом многочленов, а сложение и умножение целых чисел для упрощения идеи [4]. Безопасность схемы снижается до задачи поиска приблизительного целого НОД чисел. Для создания полностью гомоморфной схемы были добавлены операции Bootstrapping и сжатие схемы дешифрования. Параметры схемы стоит выбирать достаточно большими для избежания атак перебором. Возможная атака на схему – перебор параметров схемы и проверка путем вычисления НОД параметров. Также возможны те же атаки, что и на решетки: например, поиск кратчайшего вектора.

Бракерски и Ваикунтанатан в 2011 году представили новый подход к реализации схемы гомоморфного шифрования (BGV) [5]. Их основная идея была в устранении операции Bootstrapping. Для уменьшения сложности вычислений было принято решение перейти от задач на решетках к задаче обучения с ошибками (LWE) или ее же вариации в кольце многочленов (RLWE). Данная схема тоже добавляет шум в шифртекст и для уменьшения его производится операция замены модулей для снижения шума. Предусмотрена процедура замены ключей на более короткие. Авторы предложили некоторые оптимизации для своей схемы. Например, группировку блоков данных для меньшего количества итераций своего алгоритма. Еще один вариант оптимизации: добавить Bootstrapping, который позволит сохранять данные в сжатом виде, например, в зашифрованном AES, и запретит их неограниченное расширение.

Сложность сравнения систем гомоморфного шифрования заключается в том, что они сравниваются авторами по разным параметрам.

Джентри при формулировании своей модели определил сложность атаки перебором минимум в  $O(2^{\sqrt{n}})$ , что является временем решения задач на решетке с подмножеством размера  $\sqrt{n}$  [1]. Вычислительная сложность дешифрования высокая из-за большой длины секретного ключа. Модель непрактична из-за резкого роста размера шифротекста и затрат на вычисление в зависимости от уровня защиты.

Таблица 1

Сложность генерации ключей

n	log <sub>2</sub> p	μ = 2			μ = √N		
		2 <sup>N/ε</sup>	s <sub>2</sub>	d	2 <sup>N/ε</sup>	s <sub>2</sub>	d
8	4096	2 <sup>25</sup>	5	0,3	2 <sup>36</sup>	8	0,0
9	11585	2 <sup>31</sup>	6	0,8	2 <sup>40</sup>	7	0,3
10	32768	2 <sup>41</sup>	7	1,2	2 <sup>48</sup>	8	0,8
11	92681	2 <sup>54</sup>	8	1,7	2 <sup>61</sup>	9	1,2
12	262144	2 <sup>73</sup>	10	2,1	2 <sup>80</sup>	11	1,6
13	741455	2 <sup>100</sup>	12	2,5	2 <sup>107</sup>	13	2,1

Таблица 2

**Время выполнения операций в зависимости от разрядности ключа**

n	Encrypt	Decrypt	Mult	d	
				$\mu = 2$	$\mu = \sqrt{N}$
8	4,2	0,2	0,2	1,0	0,0
9	38,8	0,3	0,2	1,5	1,0
10	386,4	0,6	0,4	2,0	1,0
11	3717,2	3,0	1,6	2,5	1,5

Смарт и Верткаутерен не смогли реализовать технику Джентри для больших параметров [2]. Основным препятствием в данной реализации являлась сложность генерации ключей, что видно на табл. 1. Сложность решения задачи о сумме подмножества – стойкость системы – достигает приемлемого значения в  $2^{100}$  только при размере открытого ключа не менее 740 тысяч бит, а секретного –  $2^{13}$  бит. Прежде всего, схемы должны генерировать очень большое количество «кандидатов» для поиска ключа, для которого определитель будет простым. Авторы не смогли сгенерировать ключи для  $N = 2^{12}$ , а для меньших степеней 2 генерация занимала несколько часов. Надо отметить, что сами операции шифрования, дешифрования и умножения заняли не так много времени, что показано на табл. 2.

Основная оптимизация в реализации Джентри – Халеви состоит в методе генерации ключей, не требующем полной инверсии многочленов [3]. Это снижает асимптотическую сложность от  $O(n^{2,5})$  до  $O(n^{1,5})$  при работе с n-размерными решетками (и на практике сокращает время вычисления ключа от многих часов до нескольких минут). Авторы тестировали решетки разных размерностей (табл. 3). Стойкость реализации Джентри – Халеви сравнима со стойкостью предыдущей реализации. Соответственно, малая решетка не сможет обеспечить нужный уровень безопасности, нужна большая решетка, но, к сожалению, размер ключа и время его получения слишком большие.

Таблица 3

**Параметры схемы Джентри – Халеви**

Размерность решетки	«малая»	«большая»
Значение параметра N	2048	32768
Размер открытого ключа	70 Мб	2,3 Гб
Время выполнения Bootstrapping	30 секунд	30 минут

Схема DGHV имеет примерно те же характеристики, что и первоначальная модель Джентри, в плане гомоморфности и эффективности [4]. Но схема работает только для многочленов малой степени и работает только с битами открытого текста. Безопасность схемы снижена до решения задачи о поиске приблизительного НОД чисел вместо решения задачи о сумме разреженных подмножеств.

Таблица 4

**Асимптотические сложности выполнения операций и размеры параметров**

Параметр	DGHV SHE	Параметр	DGHV SHE
Сжатие	нет	Сложность дешифрования	$O(n^{10})$
Размер открытого ключа	$O(n^{10})$	Расширение открытого текста	$n^5$
Сложность генерации ключей	$O(n^{12})$	Общая сложность	$O(n^{12})$
Сложность шифрования	$O(n^{10})$	База безопасности	Приблизительный НОД

## Тестирование версий BGV

Версии BGV	Количество потоков	Общее время работы	Удельная скорость на поток
GHS-оптимизация	54	36 ч.	40 ми.
Улучшенный расчет AES	–	4 ч.	7 с.
HElib	–	10 мин.	–
Обновленная HElib	120	4 мин.	2 с.

BGV – первая более-менее рабочая схема [5]. Она может работать с объемом данных, больше нескольких байт, за приемлемое время. Существуют разные версии BGV (табл. 5). Первые версии BGV, к сожалению, работали за приемлемое время только при большом числе потоков. При проведении расчетов времени работы использовались вычисления сложной схемы, реализующей AES шифрование. За 3 года при возможности увеличения числа потоков удельная скорость на поток снизилась во много раз.

Идея создания гомоморфной системы существовала несколько десятилетий, практически сразу после появления асимметричной криптографии. Гомоморфные системы нужны для облачных вычислений, электронного голосования, защищенного поиска информации и так далее. Было создано множество схем с частичным гомоморфизмом. Первая полностью гомоморфная система была разработана Крейгом Джентри в 2009 году. С тех пор стояла задача упростить идею схемы, уменьшить сложность вычислений, размеры открытого ключа, ограничить расширение шифротекста. Схема BGV лежит в основе современных полностью гомоморфных систем, она открыла второе поколение гомоморфных систем шифрования. Произошел переход от криптосистем на решетках до отказа от Bootstrapping и решения задач LWE. Множество компаний выпустили свою программную реализацию систем: библиотека HElib от IBM, PALISADE от DARPA, библиотека Microsoft SEAL for Azure.

Перспективы развития: все еще остается открытым вопрос создания эффективной симметричной полностью гомоморфной криптосистемы. Существуют отдельные работы в этой области, но пока нет программных реализаций. До сих пор продолжаются разработки систем, способных быстро и эффективно шифровать и работать с большими объемами входных данных, например, изображениями.

В данной статье рассмотрена предметная область гомоморфного шифрования, изучены современные реализации полностью гомоморфных систем, проведен сравнительный анализ характеристик криптосистем.

## Библиографический список

1. Gentry C. Fully Homomorphic Encryption Using Ideal Lattices. In Symposium on Theory of Computing–STOC 2009. ACM. 2009. P. 16–178.
2. Smart N. P., Vercauteren F. Fully Homomorphic Encryption with Relatively Small Key and Ciphertext Sizes. In: Nguyen P. Q., Pointcheval D. (eds) Public Key Cryptography – PKC 2010. Springer LNCS 6056, 2010. P. 420–443.
3. Gentry C., Halevi S. Implementing Gentry's Fully-Homomorphic Encryption Scheme. In: Paterson K. G. (eds) Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2011. Springer LNCS 6632. 2011. P. 129–148.
4. Van Dijk M. et al. Fully Homomorphic Encryption over the Integers. In: Gilbert H. (eds) Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2010 / Van Dijk M., Gentry C., Halevi S., Vaikuntanathan V. Springer LNCS 6110. 2010. P. 24–43.
5. Brakerski Z., Gentry C., Vaikuntanathan V.: Fully Homomorphic Encryption without Bootstrapping. In: Innovations in Theoretical Computer Science. ITCS. 2012.

УДК 621.391

**А. А. Фоминых**

студент кафедры безопасности информационных систем

**А. А. Овчинников** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ 5G**

Низкоплотностные коды были предложены Р. Галлагером [1] в 1963 году, но были исключены из рассмотрения почти на 40 лет из-за сложности реализации предложенного Галлагером итеративного алгоритма декодирования этих кодов. В силу сложности реализации алгоритма, было предложено множество как различных модификаций разработанных Галлагером алгоритмов, так и других, новых способов декодирования LDPC кодов.

Галлагером были предложены методы декодирования с жестким решением (алгоритм инвертирования бит) и с мягким решением (алгоритм распространения доверия). Алгоритм распространения доверия является достаточно сложным с точки зрения реализации, но выигрывает простой алгоритм инвертирования бит в качестве декодирования. Входными данными алгоритма с жестким решением является вектор, значения которого представляют собой нули и единицы, а у алгоритма с мягким решением входные значения – двоичный вектор и вектор надежностей. Значения вектора надежностей показывают степень уверенности в соответствующих битах вектора жесткого решения. Надежности могут представлять собой вероятности, логарифмическое отношение правдоподобия.

В стандарте 5G указаны матрицы, задающие низкоплотностные коды, но не указаны способы их эффективного декодирования. В данной работе будут рассмотрены алгоритмы декодирования низкоплотностных кодов из стандарта 5G с мягким и жестким решениями.

Декодирование низкоплотностных кодов представляет собой итеративные посимвольные процедуры, т.е. алгоритмы оперируют не с блоками, а с отдельными символами принятого слова, и нахождение кодового слова производится не за одну итерацию алгоритма, а за несколько, с последовательным уточнением результата. Декодирование осуществляется до нахождения кодового слова или до достижения максимального числа итераций.

Низкоплотностные коды задаются своей проверочной матрицей, обладающей свойством разреженности, или с помощью графа Таннера. Граф Таннера представляет собой двудольный граф, который состоит из двух множеств вершин, символьных, соответствующих столбцам проверочной матрицы, и проверочных, соответствующих строкам. Две вершины графа соединены ребром, если в соответствующей позиции проверочной матрицы стоит ненулевой элемент.

**Жесткое декодирование**

Это алгоритмы, в которых принимается жесткое решение о значениях битов сообщения. Алгоритм вычисляет все проверочные уравнения и инвертирует те значения бит, которые участвовали более чем в предустановленном числе не выполнившихся проверок. Процесс прекращается, если все проверки выполнены или достигнуто максимальное число итераций.

*Алгоритм инвертирования бит (The Bit-Flipping Algorithm).*

Пусть  $\bar{y}$  – вектор вещественных значений из канала,  $\bar{z}$  – двоичный вектор, полученный из  $\bar{y}$ :  $z_j = 0$ , если  $y_j \leq 0$ , иначе  $z_j = 1$ .  $\theta$  – порог инвертирования

1. Вычисляется синдром  $\bar{s} = \bar{z}H^T \bmod 2$ . Если  $\bar{s} = 0$ ,  $\bar{z}$  – кодовое слово.
2. Вектор числа не выполнившихся проверок  $\bar{f} = \bar{z}H$ .
3. Инвертировать соответствующие  $z_j$ , при которых выполняется  $f_j \geq \theta$ .

*Однопроходный мажоритарный декодер (One Step Majority Logic Algorithm).*

Частный случай алгоритма инвертирования бит [2], при  $\theta = \gamma / 2$ , где  $\gamma$  – число единиц в столбце проверочной матрицы. То есть бит инвертируется, если число не выполнившихся проверок превысило половину от их общего числа.

*Итеративный мажоритарный алгоритм с информацией о жестких решениях (IHRB-MLGD).*

Пусть  $\bar{z}$  – двоичный принятый вектор,  $\bar{R}$  – вектор надежностей принятых бит.  $\sigma_j = s_j - z_j$  – проверочная сумма, исключающая проверку  $z_j$ ,  $\xi_j = \sum (2\sigma_{ij} - 1)$ .

Инициализация:  $\bar{z}$ ,  $R_j = \gamma$ , если  $z_j = 0$ ,  $R_j = -\gamma$ , если  $z_j = 1$ .

1. Вычисление синдрома  $\bar{s} = \bar{z}H^T \bmod 2$ . Если  $\bar{s} = 0$ ,  $\bar{z}$  – кодовое слово.
2. Конец алгоритма, если число итераций достигло максимального значения.
3. Обновление мер надежностей принятого бита:  $R_j = R_j + \xi_j$ .
4. Обновление кодового слова:  $z_j = 0$ , если  $R_j \leq 0$  и , если  $R_j > 0$ .

### Мягкое декодирование

Алгоритмы жесткого декодирования могут быть улучшены, если в процесс вносится информация о надежности битов. Рассмотрим модификацию алгоритма IHRB в случае, когда доступны значения надежностей о принятых битах из канала.

*Итеративный мажоритарный алгоритм с информацией о мягких решениях (ISRB-MLGD).*

Пусть  $\bar{y}$  – вещественные значения из канала,  $\bar{z}$  – двоичный вектор, полученный из  $\bar{y}$ :  $z_j = 0$ , если  $y_j \leq 0$ ,  $z_j = 1$ , если  $y_j > 0$ . Тогда величины  $|y_j|$  – оценивают надежность соответствующего бита  $z_j$ . Чем больше это значение, тем надежнее жесткое решение относительно  $z_j$ . Пусть  $\bar{q}$  – вектор равномерно квантованных значений вектора  $\bar{y}$  на интервале  $[-2^{b-1} - 1, 2^{b-1} + 1]$ .

ISRB отличается от IHRB только шагом инициализации: значениям надежности  $R_j$  присваиваются квантованные значения  $\bar{q}$ ,  $R_j = q_j$ . Остальные шаги совпадают, поэтому вычислительные сложности алгоритмов совпадают.

*Алгоритм сумма-произведение (Sum-Product Algorithm).*

1. Инициализация символьных вершин значениями из канала:

$$L_j = 2y_j / \sigma^2; L_{j \rightarrow i} = L_j, \text{ если советующий элемент проверочной матрицы } h_{ij} = 1.$$

2. Обновление проверочных узлов:

$$L_{i \rightarrow j} = 2 \cdot \text{th}^{-1} \left( \prod \text{th} \left( \frac{1}{2} L_{j' \rightarrow i} \right) \right)$$

3. Обновление символьных узлов:

$$L_{j \rightarrow i} = L_j + \sum_{i'} L_{i' \rightarrow j}$$

4. Обновление LLR:

$$L_j^t = L_j + \sum_i L_{i \rightarrow j}$$

5. Проверка условия останова:  $\hat{v}_j = 1$ , если  $L_j^t < 0$ , иначе  $\hat{v}_j = 0$ .

Если достигнуто максимальное число итераций или  $\hat{v}H^T = 0$ , тогда алгоритм прекращается, иначе – переход к шагу 2.

Второй шаг вычислительно сложен из-за присутствия функции гиперболического тангенса и произведения, поэтому предложены несколько модификаций алгоритма SPA, в которых приводится упрощение этого выражения. Упрощение, представленное Галлагером [3], заключается в представлении значения  $L_{j \rightarrow i}$  в виде двух составляющих: знак  $\alpha_{ji}$  и величина  $\beta_{ji}$ :

$$L_{i \rightarrow j} = \prod \alpha_{j'i} \cdot \phi\left(\sum \phi(\beta_{j'i})\right),$$

где  $\phi(x) = \ln\left(\frac{e^x + 1}{e^x - 1}\right)$ .

*Алгоритм Min-Sum.*

Заметим, что минимальный  $\beta_{j'i}$  определяет сумму  $\sum \phi(\beta_{j'i})$  и что  $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$  при  $x > 0$ :

$$L_{j \rightarrow i} = \prod \alpha_{j'i} \cdot \min \beta_{j'i}$$

В алгоритме Min-Sum в связи с переходом от суммы к минимальному члену, значениям  $L_{j \rightarrow i}$  присваиваются значения большие, чем тем же значения в SPA. Для уменьшения чересчур оптимистичных значений, присваиваемых  $L_{j \rightarrow i}$  предлагаются алгоритмы с коэффициентами ослабления  $c_a$  (алгоритм Attenuated Min-Sum) и смещения  $c_0$  (алгоритм Offset Min-Sum).

*Алгоритм Attenuated Min-Sum.*

$$L_{j \rightarrow i} = \prod \alpha_{j'i} \cdot c_a \cdot \min \beta_{j'i}$$

*Алгоритм Offset Min-Sum.*

$$L_{j \rightarrow i} = \prod \alpha_{j'i} \cdot \max\{\min \beta_{j'i} - c_0\}$$

*Алгоритм Box-Plus.*

$$L_{i \rightarrow j} = B_{j'}(L_{j' \rightarrow i})$$

где  $B(L_1, L_2) = \ln\left(\frac{1 + e^{L_1 + L_2}}{e^{L_1} + e^{L_2}}\right)$  и  $B$  – бинарный оператор box-plus.

Значения функций box-plus и  $\phi$  могут быть вычислены на этапе инициализации и представлены в виде таблицы для ускорения процесса декодирования.

*Многopороговый Min-Sum алгоритм (Generalized multi-threshold decoder for low-density parity check codes, GMTN).*

Пусть  $T$  – минимальное из значений надежностей проверочных узлов [4], в соответствии с которым производится обновление значений символьных узлов.

1. Инициализация символьных вершин значениями из канала
2. Обновление проверочных узлов:  $L_{i \rightarrow j}$

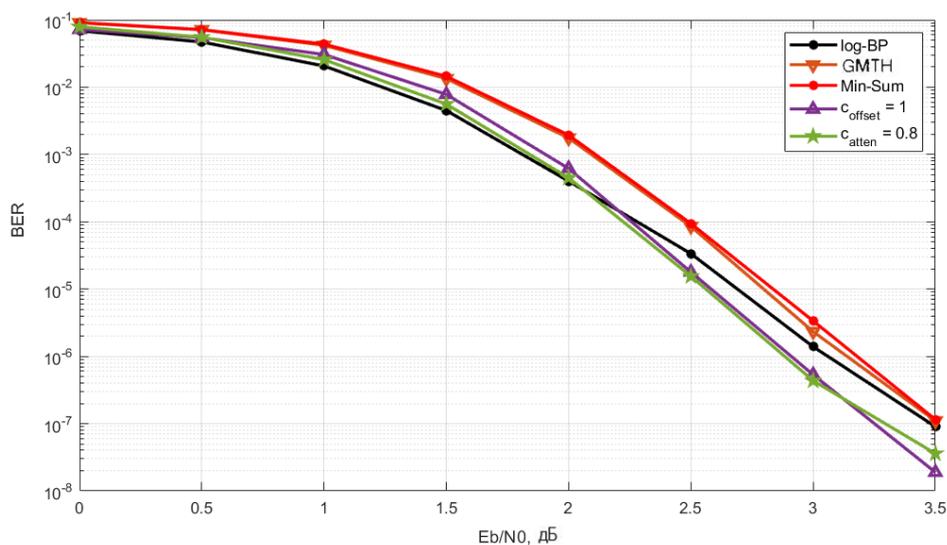
$$T = \min(L_{i \rightarrow j})$$

3. Обновление символьных узлов:  $L_{j \rightarrow i} = L_{j \rightarrow i}$ , если  $0 < L_{j \rightarrow i} < T$ , иначе  $L_{j \rightarrow i} = 0$

### Моделирование

Моделирование осуществляется в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) с нулевым математическим ожиданием и с дисперсией  $\sigma^2 = N_0 / 2$ .  $N_0$  – спектральная плотность мощности. Пусть  $\bar{y}$  – принятый из канала вектор, элементы которого – вещественные величины. Для канала с АБГШ логарифмическое отношение правдоподобия может быть вычислено как  $L_j = 2y_j / \sigma^2$ .

Рассматривается LDPC код (138, 552). Число итераций для всех алгоритмов равно 30. На рисунке показаны кривые вероятности ошибки при декодировании с использованием алгоритмов: log-BP, Min-Sum, Attenuated Min-Sum, Offset Min-Sum и GMTN. Наименьшую вероятность ошибки для рассматриваемого кода показал алгоритм Offset Min-Sum с коэффициентом  $c_0 = 1$ .



### Результаты моделирования

Были рассмотрены алгоритмы декодирования низкоплотностных кодов: SPA и его модификации (log-BP, Min-Sum, Attenuated Min-Sum, Offset Min-Sum, GMTH, Box-Plus SPA). Наименьшая вероятность ошибки была получена с помощью алгоритма Offset Min-Sum с коэффициентом  $c_0 = 1$ . Так как рассмотренные алгоритмы представляют собой аппроксимации алгоритма SPA, дальнейшим направлением исследования является сравнение алгоритмов по используемой памяти и количеству выполняемых операций.

### Библиографический список

1. Gallager R. G. Low-Density Parity-Check Codes. Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1963.
2. Huang Q. et al. Two Efficient and Low-Complexity Iterative Reliability-Based Majority-Logic Decoding Algorithms for LDPC Codes. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224089048\\_Two\\_efficient\\_and\\_low-complexity\\_iterative\\_reliability-based\\_majority-logic\\_decoding\\_algorithms\\_for\\_LDPC\\_codes](https://www.researchgate.net/publication/224089048_Two_efficient_and_low-complexity_iterative_reliability-based_majority-logic_decoding_algorithms_for_LDPC_codes) (дата обращения: 24.04.2019).
3. Ryan W. E., Lin S. Channel Codes: Classical and Modern. Cambridge, 2009. 239 с.
4. Belogolovyi A. V., Krouk, E. A. Generalized Multi-Threshold Decoder for Low-Density Parity Check Codes. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/88/e4/12/d47e38ce15b684/WO2007075098A1.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 004.021

**М. П. Агеев**

студент кафедры информационно-сетевых технологий

**А. С. Афанасенко** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ТЕМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

### Введение

Обработка текстов на естественном языке относится к наиболее передовым информационным технологиям. Актуальность этого направления исследований вызвана тем, что в современном мире стремительно растет роль взаимодействия человека и компьютера в повседневной жизнедеятельности – в сфере телекоммуникаций, здравоохранения, финансов, социального обеспечения, на транспорте и т. д. Причем от современных технических систем требуется не просто отреагировать на определенные слова или преобразовать звук человеческой речи в письменный текст, а определить семантику и даже эмоциональную окраску высказывания, чтобы сформировать адекватный ответ системы или задать уточняющий вопрос. Языковое общение между людьми существенно менее структурировано и менее формализовано, чем протоколы обмена данными между компьютерными системами. Поэтому обработка текстов на естественном языке требует применения сложных вычислительных методов, включая искусственные нейронные сети, вероятностные модели, и т.п. Сегодня от представителей науки и бизнеса требуется развивать технологии обработки текстов на естественном языке, чтобы они приносили действительную пользу обществу.

### Постановка задачи

Требуется разработать программное обеспечение для автоматической классификации русскоязычных текстов, содержащихся на общедоступных веб-страницах в сети Интернет. Данная классификация требуется для:

- родительского контроля;
- предотвращения распространения нежелательного содержимого;
- настройки рекламных кампаний (согласование рекламируемой продукции с тематикой сайтов, на которых размещается реклама).

Широкомасштабная коммерческая категоризация веб-сайтов в основном производится специализированными компаниями (Alexa, Cyren, Webroot). Наиболее точная категоризация веб-содержимого осуществляется с участием человека-оператора. Но скорость такой проверки невелика – один человек может проверить всего 50 – 100 сайтов в день. Более широкое применение имеет классификация по характерным признакам – например, по названию сайта и ключевым словам. Точность такой классификации существенно ниже, чем при ручной проверки, а цена ошибки достаточно велика – жалобы клиентов, сайты которых неправильно категоризованы, и потеря прибыли.

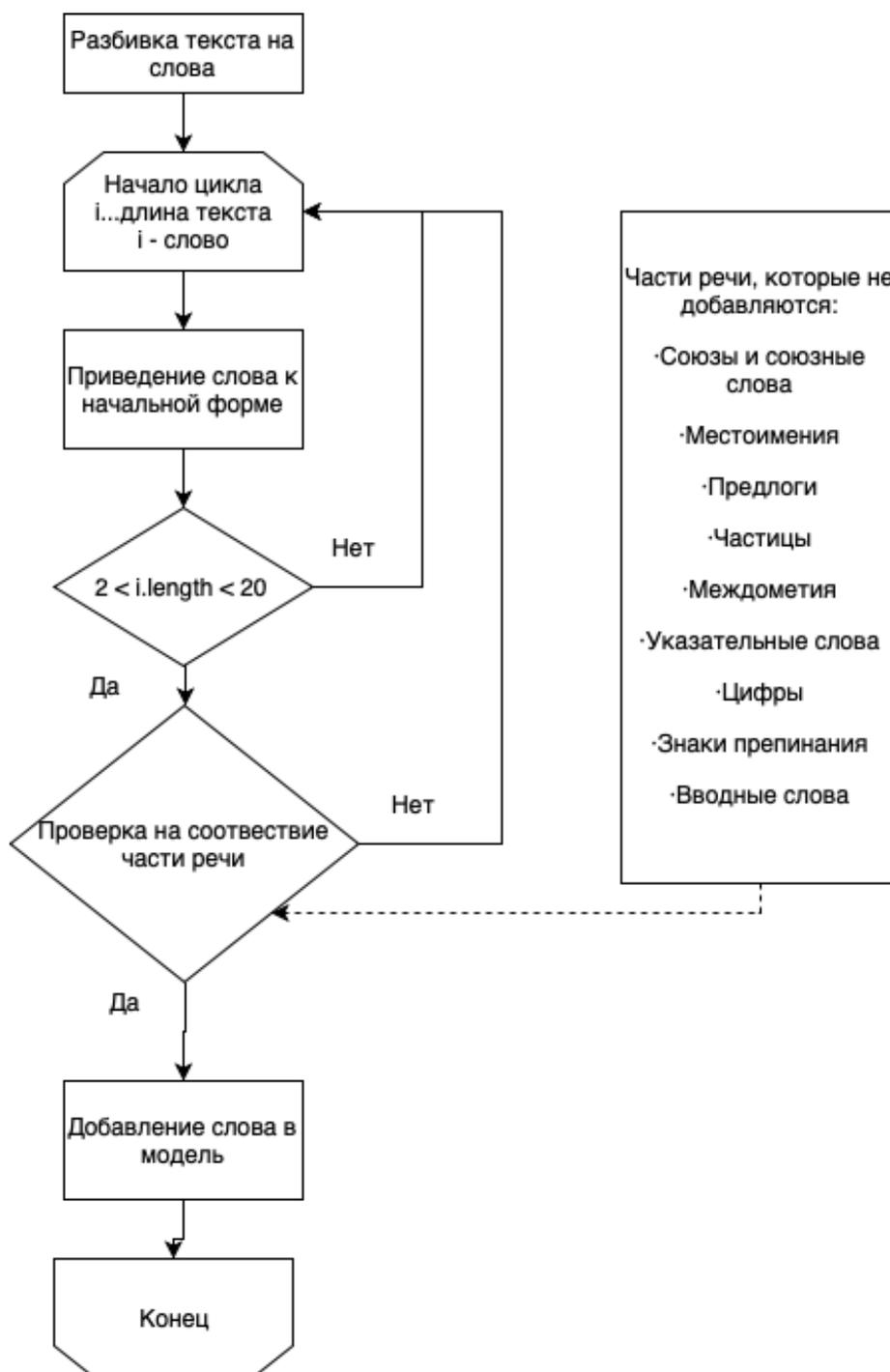
Разрабатываемое ПО должно иметь два режима – обучение по набору предварительно категоризованных текстов и применение – классификация неизвестных текстов. Язык программирования – python.

### Предварительная обработка текста

Во всех современных методах обработки текста на естественном языке используется та или иная предварительная обработка текста с целью исключения несущественной информации [2]. В настоящей работе этот этап представлен тремя процедурами:

- нормализация текста с разбивкой на слова;
- преобразование слов к начальной форме;
- исключение незначащих слов.

Предложенный алгоритм приведен на рисунке.



Нормализация текста подразумевает приведение к единому регистру (нижнему), разбивку на слова и исключение знаков препинания. Реализация данной процедуры на выбранном языке python является тривиальной задачей.

Для приведения слов к начальной форме был использован свободно распространяемый пакет `ru morphology2`, основанный на корпусе русского языка `OpenCorpora`.

Исключение незначащих (мешающих классификации) слов – это исключение из текста вспомогательных частей речи, применение которых не связано с конкретной тематикой текста (определение частей речи выполняется тем же пакетом `ru morphology2`). К незначащим частям речи относятся союзы, предлоги, частицы, вводные слова и т.д. Дополнительно, для повышения качества классификации, был составлен список слов из числа основных частей речи (существительных, глаголов, наречий), которые

также не специфичны для текстов определенной тематики. (например, сайт, давать, всегда, однако и др.). В последующей работе планируется отказаться от такого списка, так как его формирование трудоемко и неоднозначно.

### Классификатор Байеса

Будем называть произвольный текст на письменном русском языке документом, а главную тему этого текста – классом. Тогда теорема Байеса описывает соотношение между условными вероятностями.

$$P(c | d) = \frac{P(d | c)P(c)}{P(d)},$$

где  $P(c|d)$  – вероятность, что документ  $d$  принадлежит классу  $c$ ,  $P(d|c)$  – вероятность встретить документ  $d$  среди всех документов класса  $c$ ,  $P(c)$  – вероятность встретить документ класса  $c$  в корпусе документов,  $P(d)$  – вероятность появления документа  $d$  в корпусе документов. Теорема Байеса позволяет переставить местами причину и следствие. Зная, с какой вероятностью причина приводит к некоему событию, на основе данной теоремы можно рассчитать вероятность того, что именно эта причина привела к наблюдаемому событию [1].

Цель классификации заключается в определении к какой теме (классу) относится текст (документ). Байесовский классификатор использует оценку максимума апостериорной вероятности для определения наиболее вероятного класса:

$$c_{map} = \operatorname{argmax}[P(d | c)P(c)], \quad (1)$$

где  $c_{map}$  – класс с наибольшей апостериорной вероятностью.

Чтобы упростить построение байесовского классификатора, вводится допущение о независимости отдельных слов текста друг от друга. При таком допущении игнорируются особенности языка, но упрощается вычисление условной вероятности принадлежности документа тому или иному классу:

$$P(d | c) \approx P(w_1 | c)P(w_2 | c) \dots P(w_n | c) = \prod_{i=1}^n P(w_i | c),$$

где  $P(w_i|c)$  – вероятность встретить слово  $w_i$  среди всех документов класса  $c$ . Для (1) получаем:

$$c_{map} = \operatorname{argmax}[P(c) \prod_{i=1}^n P(w_i | c)].$$

При большом числе слов в документе возникает проблема численной неустойчивости (для арифметики с плавающей запятой), традиционно решаемая переходом в логарифмическую область. Логарифм, как монотонное преобразование, не меняет положение максимума, но позволяет заменить произведение на сумму:

$$c_{map} = \operatorname{argmax}[\log P(c) + \sum_{i=1}^n \log P(w_i | c)],$$

где

$$P(c) = \frac{D_c}{D},$$

где  $D_c$  – количество документов принадлежащих классу  $c$ ,  $D$  – общее количество документов. Оценка вероятности слова в классе

$$P(w_i | c) = \frac{W_{ic}}{\sum_{i \in V} W_{ic}},$$

где  $W_{ic}$  – частота появления  $i$ -го слова в документах класса  $c$ ,  $V$  – словарь корпуса документов.

### Коррекция для неизвестных слов

Типичным решением проблемы неизвестных слов является аддитивное сглаживание (сглаживание Лапласа). Идея заключается в том, что к частоте каждого слова прибавляется единица.

$$P(w_i | c) = \frac{W_{ic} + 1}{\sum_{i \in V} (W_{ic} + 1)} = \frac{W_{ic} + 1}{|V| + \sum_{i \in V} W_{ic}}.$$

Итоговая формула:

$$c_{map} = \operatorname{argmax} \left[ \log \frac{D_c}{D} + \sum_{i=1}^n \log \frac{W_{ic} + 1}{|V| + \sum_{i \in V} W_{ic}} \right]. \quad (2)$$

### Обучение классификатора

Для обучения необходим набор текстов, в котором проставлены соответствия между документами и их классами.

Из выборки необходимо собрать следующую статистику:

- относительные частоты классов в корпусе документов. То есть, как часто встречаются документы того или иного класса;
- суммарное количество слов в документах каждого класса;
- относительные частоты слов в пределах каждого класса;
- размер словаря выборки. Количество уникальных слов в выборке.

Совокупность этой информации мы будем называть моделью классификатора. Затем на этапе классификации необходимо для каждого класса рассчитать значение следующего выражения и выбрать класс с максимальным значением.

### Определение неизвестной темы

При работе классификатора с текстом, тем которого не была включена в обучающую выборку, необходимо снизить вероятность ошибок второго рода (принятие ложной гипотезы о принадлежности текста одной из тем). Для этого рассчитывается односторонний доверительный интервал статистики (2), то есть порог, зависящий от числа слов в классифицируемом тексте.

### Результаты эксперимента

#### Данные для обучения и тестирования

В эксперименте по классификации текстов было использовано 10 тем, типичных для популярных веб-сайтов:

1. Спорт.
2. Медицина.
3. Живопись.
4. Музыка.
5. Игры компьютерные.
6. Кино (рецензии).
7. Рецепты.
8. Политика.
9. Автомобили.
10. Технологии.

По каждой теме было найдено 50 текстов, объем одного текста в среднем 10 000 символов.

При обучении использовалась перекрестная валидация [3]. Данная методика обучения предназначена для проверки того, насколько успешно применяемый в модели статистический анализ способен работать на независимом наборе данных. Обычно перекрестная валидация используется в ситуациях, где целью является предсказание, и требуется оценить, насколько предсказывающая модель способна работать на практике. Один цикл перекрестной валидации включает разбиение набора дан-

ных на части, затем построение модели на одной части (называемой тренировочным набором), и валидация модели на другой части (называемой тестовым набором). Чтобы уменьшить разброс результатов, разные циклы перекрестной валидации проводятся на разных разбиениях, а результаты валидации усредняются по всем циклам обучения.

В результате описанного эксперимента достигнута точность классификации 96,8%. При тестировании обученного классификатора на других текстах, темы которых не были представлены в обучающем наборе, наблюдалась высокая вероятность ошибки второго рода – до 40%, что говорит о необходимости более детального исследования границ доверительного интервала решающей статистики (2).

### Заключение

В статье рассмотрено решение задачи автоматического определения основной темы для фрагмента письменной русской речи. Предварительная обработка текста включает отбор значащих слов и приведение к основе, позволяющее снизить влияние вариативности русского языка. Для классификации используется метод Байеса с предварительным обучением статистического классификатора на существенном количестве текстов известной тематики. Проект выполнен на языке python. Вероятность правильного определения темы составила для тестовой выборки более 95%, что является хорошим результатом для автоматической классификации веб-страниц в системах наподобие родительского контроля. Тем не менее, классификатор показал неудовлетворительные результаты, когда при обработке данных возможна ошибка второго рода – то есть, когда на классификатор подается текст, тема которого не была представлена в обучающей выборке и требуется ответ «неизвестная тема». По-видимому, применение более сложной языковой модели (с грамматическим разбором предложений) позволит улучшить работу классификатора. Тем не менее, в описанном виде предложенный классификатор также представляет ценность благодаря своей простоте и скорости работы.

### Библиографический список

1. 6 простых шагов для освоения наивного байесовского алгоритма. URL: <http://datareview.info/article/6-prostyih-shagov-dlya-osvoeniya-naivnogo-bayesovskogo-algoritma-s-primerom-koda-na-python> (дата обращения 29.03.2019).
2. Бионика интеллекта. Метод двухэтапной классификации электронных текстов. URL: [http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/4697/1/Chalaya\\_LE\\_16-23.pdf](http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/4697/1/Chalaya_LE_16-23.pdf) (дата обращения: 29.03.2019).
3. Long/Short. Кросс-валидация. URL: <http://long-short.pro/post/kross-validatsiya-cross-validation-304> (дата обращения: 29.03.2019).

УДК 681.3.06

**С. Ю. Гуков**

студент кафедры информационно-сетевых технологий

**Н. Н. Красильников** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОМПРЕССИИ СТЕРЕОПАРЫ ПУТЕМ СЖАТИЯ КАРТЫ ВЕКТОРОВ СМЕЩЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ ПАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Телекоммуникационная отрасль за последнее время пережила огромные изменения. Мы перешли от аналоговых сетей к цифровым, что позволило создать очень мощные современные мультимедиа технологии. Телекоммуникации, интернет, цифровые развлечения и различные вычисления стали в целом частью нашей повседневной жизни.

Сегодня мы практически постоянно говорим о цифровых сетях, цифровом представлении изображений, фильмов, видео, ТВ, голоса, цифровой библиотеке. Все это происходит потому, что цифровое представление сигнала является более надежным, чем аналоговое. В таком виде гораздо проще обрабатывать, хранить и передавать данные на большие расстояния по всему миру через коммуникационные сети.

Изображения и видеоданные (например, фильмы) составляют значительную часть от всех мультимедийных данных. Мы наблюдаем постоянный рост качества современной графической информации. Вследствие этого, в геометрической прогрессии растет и объем данной информации. К сожалению, развитие современных технологий передачи данных значительно уступает в скорости, не поспевая за постоянно растущими требованиями к средствам передачи информации. В результате этих проблем единственным решением остается развитие эффективных методов сжатия информации [1].

Как и во многих появляющихся решениях различных проблем, существуют «подводные камни». Так, помимо огромного достоинства сжатия графической информации в виде значительного уменьшения объема этой информации, присутствует не менее важный недостаток – заметное ухудшение качества воспроизводимой графики. Однако, учитывая особенности зрительной системы человека, искажения, влияющие на качество наблюдаемого изображения, до определенного уровня сжатия зрителю незаметны.

С каждым днем все чаще можно услышать про формат 3D. Это формат, при котором воспроизводимая графика воспринимается человеком трехмерной, то есть такой, каким является окружающий мир для человеческого зрения. В основе системы 3D лежит теория о бинокулярном зрении человека и оптическом эффекте параллакса. Так, для левого глаза человека демонстрируется левое изображение стереопары, а для правого глаза – правое. Как правило, типичную стереопару получают путем съёмки одного и того же объекта или сцены с двух соседних точек, которые призваны своим положением и расстоянием между собой симитировать положение человеческих глаз. Появление 3D-телевизоров в 2010 году должно было произвести переворот в мире телевидения, однако этого не произошло. Дело в том, что пока не существует единого универсального формата телевизионного вещания, при использовании которого можно было бы смотреть на экранах 3D телевизоров 2D-контент в формате 2D, а также смотреть на экранах 2D-телевизоров 3D-контент в 2D-формате. А снимать отдельные 3D-версии фильмов и телепередач, отдельно посылать полные стереопары по каналам связи, требует огромных финансовых вложений [2].

Таким образом, предлагается разработать универсальный формат на основе того, что изображения стереопары практически идентичны между собой. Поэтому за основу можно взять одно изображение (например, левое) и генерировать на его основе второе изображение стереопары, используя для этого информацию о разнице между ними, которая, как ожидается, будет представлена малым цифровым потоком. В таком случае системы телевизионного вещания будут передавать только один левый компонент, отведя незначительное время (как показывает практика, это всего несколько процентов от длительности передачи компонента) на передачу информации о разнице между изображениями стереопары [3]. При внедрении такого формата зрители будут видеть на 2D-телевизорах переданный компонент стереопары (т.е. нормальную 2D-картинку), а на 3D-телевизорах полноценное трехмерное изображение, так как прямо на месте будет реконструироваться второй компонент стереопары.

Необходимую информацию для генерации второго изображения (разницу между изображениями) можно представить в виде карты глубины (карты экранного параллакса). Также данную карту можно подвергнуть дальнейшему дополнительному сжатию. Разумеется, что при использовании методов сжатия с

потерями информации возникают погрешности при восстановлении второго компонента стереопары. Однако до определенного уровня они не приводят к заметным для зрителей искажениям стереоскопической картинки [4].

Карта смещения – это изображение в градациях серого, которое показывает, как нужно сместить пиксели изображения на одном из компонентов стереопары по отношению к другому. Карта глубины – это изображение, на котором для каждого пикселя вместо цвета хранится его расстояние до зрителя [5]. Идея, лежащая в основе построения карт глубин по стереопаре, заключается в том, что для каждой точки на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом. На основе карт глубины строятся карты смещений [6].

Подводя итоги результатов экспериментов по определению вероятности, с которой зрители обнаруживают искаженное изображение, сжатое различными методами, можно сразу сделать следующие выводы.

Были рассмотрены и проанализированы три основных метода сжатия карты экранных параллаксов, с помощью которой можно получить второй компонент стереопары: метод сжатия с использованием формата JPEG, метод сжатия путем сокращения количества разрядов кода, метод сжатия путем сокращения плотности отсчетов.

По причине небольшой компрессии стоит отказаться от применения первого рассмотренного метода сжатия с использованием формата JPEG. Также следует отказаться от применения метода сжатия путем сокращения количества разрядов кода. Объем получаемой компрессии не сопоставим с объемом работы, проводимой для этого.

Таким образом, по результатам проведенных исследований лучшим методом сжатия из рассматриваемых можно назвать метод сжатия путем сокращения плотности отсчетов. Достоинством такого алгоритма можно назвать его простоту декодирования сигнала, которое по факту можно свести к интерполяции нулевого порядка. При этом метод позволяет достигнуть большой степени компрессии, не влияя на качество картинки, воспринимаемое зрителями. При сжатии фильма также можно учитывать его жанр (т.е. среднюю длительность сцен) и в зависимости от этого подбирать необходимую величину компрессии, уменьшая объем передаваемых данных еще больше.

Подводя итоги полученным и проанализированным результатам, стоит отметить их важную роль в дальнейшей разработке универсального формата телевизионного вещания, который позволил бы смотреть на 2D-телевизорах 3D-контент в 2D-формате, а на 3D-телевизорах – 2D-контент в 2D-формате. Предложенная идея, заключающаяся в передаче по каналам связи одного компонента стереопары совместно с картой экранных параллаксов, имеет большие перспективы на практическую реализацию. Действительно, ведь передаваемые в таком виде медиаданные без проблем можно будет смотреть на существующих 2D-телевизорах. Для существующих 3D-телевизоров можно разработать и продавать относительно несложные индивидуальные приставки, которые будут кодировать полученный сигнал в 3D-картинку. Сразу приходит на ум аналогия с приставками, преобразовывающими аналоговый сигнал в цифровой, которые в 2019 году должны приобрести большая часть населения страны.

### Библиографический список

1. Acharya T., Tsai P. S. JPEG2000 Standard for Image Compression. New York: Wiley, 2005.
2. Ватолин Д. и др. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 381 с.
3. Salomon D. Data Compression: The Complete Reference. Springer-Verlag London Limited, 2007. P. 1094.
4. Сжатие информации без потерь. Ч. 1. URL: <https://habr.com/ru/post/142242>. (дата обращения: 15.03.2019).
5. Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. Лекция № 4. Сжатие информации. URL: <https://studfiles.net/preview/2595850> (дата обращения: 15.03.2019).
6. Красильников Н. Н., Красильникова О. И. Определение координаты глубины по 2D-изображению // Оптический журнал. Т. 78. 2011. № 10.

## УДК 378.1

**В. А. Кандалова, В. В. Шерстнева, Я. М. Селезнева**

студенты кафедры информационно-сетевых технологий

**Н. В. Богословская** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ 1С В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Современные условия организации образовательного процесса позволяют уделить достаточное внимание интеграции образования и инновационной деятельности. Очевидно, что этот процесс является главной частью в экосистеме развития общества. Связано это с тем, что такое взаимодействие дает возможность вузу соблюдать и отслеживать тенденции изменения требований IT-компаний к специалистам, и тем самым корректировать образовательные программы, и таким образом способствовать повышению конкурентоспособности и статуса образовательного учреждения. У компаний появляется возможность участвовать в процессе обучения и создавать совместные проекты с вузом в сфере IT-образования.

Решение вопроса о подготовке необходимых кадров в сфере IT-специалистов возможно лишь при условии тесного взаимодействия учебного заведения и IT-компаний [1]. Это влечет за собой необходимость в создании такой системы, при которой будут выстраиваться взаимоотношения, образующие синергетический эффект, то есть повышение эффективности деятельности двух сторон.

Сегодня высокий уровень образования – это лишь один фактор успеха при трудоустройстве и построении карьеры. В роли второго фактора успеха выступают навыки коммуникации, преумножения капитала идентичности, которые востребованы на современном этапе развития общества. Описанные выше навыки студент может приобрести, проходя стажировки в компаниях партнеров, с которыми сотрудничает университет. Создание, укрепление и развитие связей между потенциальными работодателями и многими университетами отсутствует в связи с незаинтересованностью работодателей в привлечении молодых специалистов для прохождения стажировок, а также ограниченное количество мест для прохождения практики по долгосрочным договорам. Многие университеты в неполной мере используют имеющиеся ресурсы, которые предоставляют компании для ведения сертифицированной деятельности, а именно компании предоставляют вузу бесплатный, лицензионный продукт, но по окончании курса студенты не получают соответствующий документ, подтверждающий их компетентность в рассматриваемой области.

Стоит отметить, что все же некоторые компании активно сотрудничают с вузами. Фирма «1С» является ярким примером фирмы – представителя партнерских программ, будучи одной из крупнейших фирм-разработчиков программного обеспечения на российском рынке информационных технологий. Компания «1С» активно взаимодействует с потенциальной аудиторией [2]. Проводит различные конференции, участниками которых могут стать потенциальные потребители программного обеспечения, студенты, обучающиеся в вузах партнерах и преподаватели. Кроме того на конференции "Новые информационные технологии в образовании", состоявшаяся 29-30 января 2019 года в Москве, в которой приняли участие авторы статьи, поднималась тема внедрения сертифицированных, учебных курсов от фирмы «1С» в образовательные программы.

Целью данной программы служит создание условий для эффективной интеграции сертифицированных курсов «1С:Предприятие» в учебные программы образовательных учреждения, для подготовки высококлассных IT-специалистов, которые смогут работать с технологией фирмы «1С». Участие в данной программе предлагает образовательным организациям современные и востребованные программы обучения, позволяющие повысить конкурентные преимущества и привлечь дополнительные инвестиции от потенциальных работодателей, кроме того повышается качество образовательных услуг в области информационно-коммуникационных технологий. Участие в данной программе позволяет снизить затраты на закупку программного обеспечения, поскольку фирма «1С» предлагает лицензионные решения. В качестве приложения к программному обеспечению, фирма предоставляет учебные материалы и поддерживает компетентный подход в преподавании информационно-коммуникационных технологиях.

Фирма «1с» предоставляет преподавателям IT – дисциплин актуальную методическую помощь и позволяет изучить потребности современного рынка труда. Кроме того, выстраивается интерактивная среда для совместной работы со студентами, тем самым построение гибкой и адаптированной системы образования позволяет повысить эффективность преподавания и автоматизировать выполнение рутинных операций, поскольку у преподавателей появляется время на развитие творческого потенциала.

У студентов и выпускников вузов, сотрудничающих с фирмой «1с», повышается уровень конкурентоспособности на рынке труда. Связано это с тем, что навыки, полученные при обучении в университете, позволят студентам сразу после окончания вуза работать по специальности, поскольку полученные навыки и знания дают возможность сдать сертифицированные экзамены "1С:Профессионал", "1С:Специалист" и других программ обучения, предоставляющих фирмой «1с», и тем самым пополнить портфолио для дальнейшего трудоустройства.

На сегодняшний момент система сертификации «1с» включает в себя 6 основных направлений, которые направлены на различные виды деятельности. В качестве подтверждения высокого уровня владения инструментами, служит программа сертификации «1С:Профессионал».

Так, например, изучение «1С:Специалист» позволяет получить навыки, необходимые для реализации пользовательских задач, дает понимание принципов построения конфигурации, а также ее технологии функционирования.

Для повышения квалификации бизнес-аналитики могут пройти курс «1С:Специалист-консультант», в котором подтверждается знание принципов построения и технологий функционирования прикладного решения, а также вырабатывается умение показать, как потребности заказчика будут решены средствами прикладного решения.

Специалистам, имеющим образование по профилю бухгалтерский или управленческий консалтинг подойдет курс «1С:Консультант» и «1С:Ведущий консультант» с помощью которого можно приобрести опыт комплексного консультирования в конкретной области организационного управления.

Для менеджеров и руководителей предусмотрен модуль «1С:Руководитель проекта» и «1С:Руководитель корпоративных проектов», который подтверждает наличие знаний, квалификации и опыта необходимых для успешного управления проектами внедрения программных продуктов фирмы «1С» с использованием рекомендованных фирмой «1С» технологий внедрения;

Прохождение курса «1С:Эксперт» подтверждает знание методик, с помощью которых можно спроектировать и разработать крупные информационные системы, особенностей механизмов «1С:Предприятие», владение методиками нагрузочного тестирования систем, а также умение администрировать информационную систему для достижения ею максимальной производительности. После изучения данного модуля специалист сможет производить мониторинг проблем, правильно их диагностировать и предлагать адекватный способ их решения.

Перспективами сотрудничества вуза и различных компаний является то, что организации также участвуют в обучении студентов, что позволяет на выходе получить специалистов с именно тем уровнем образования и количеством навыков, которые необходимы компании для принятия на работу потенциального соискателя. У фирмы «1С» существует несколько школ, где студенты получают образование и опыт в различных модулях продуктов компании. Также на базе университетов-партнеров у «1С» имеются направления по обучению магистрантов, что позволяет в рамках учебного процесса получить необходимые компетенции.

По данным кадровых сайтов, наибольший спрос пришелся на разработчиков приложений на языке «1С». Потребность в 1С-программистах, по данным hh.ru, составило 45% от общего числа предложений о трудоустройстве для программистов и разработчиков программного обеспечения. На втором месте рейтинга – вакансии для программистов PHP (12,8%). Далее следуют вакансии для разработчиков Java и C/C++ (7,8 и 6,1% запросов соответственно)[3]. Связано это с тем, что отрасль информационных технологий в России активно развивается и в том числе в сфере разработки «1с», поскольку многие 1с – программисты растут по карьерной лестнице и становятся руководителями проектов и тем самым, освобождая вакантные места для специалистов нового поколения. Главная задача связана с инновационной и востребованной в экономике страны разработкой автоматизированных систем. Владея практическими навыками программирования в продуктах фирмы «1с» разработчик избегает рутины

в написании типовых модулей и занимается адаптацией решения под конкретную задачу. Студенты, которые приобрели практические навыки программирования, обучаясь в вузе, имеют возможность конкурировать не только с отечественными разработками, но и зарубежными, что повысит уровень конкурентоспособности и студента и вуза, в котором обучался студент.

Интеграция образования и инновационной деятельности дает возможность корректировать образовательные программы и, таким образом, повышать конкурентоспособность и статус образовательного учреждения. Компаниям такое взаимодействие позволяет влиять на процесс обучения и, тем самым, подготавливать молодых специалистов к дальнейшей работе в сфере ИТ. Потребность в 1с-программистах велика и составляет около 45% от общего числа предложений. Второе место в рейтинге востребованных профессий занимает вакансия РНР-программист, которая составляет 12%, после них идут вакансии программистов java и с++ -7% и 8% соответственно, что говорит о большой востребованности на рынке узких специалистов в ИТ сфере. Специалисты, использующие в своей работе программный продукт 1с, не допускают множественных ошибок, связанных с однотипным потоком данных. Фирма «1с» взаимодействует с аудиторией и позволяет познакомиться с их продукцией, а также проводит мастер-классы в рамках конференций.

### Библиографический список

1. Концепция взаимодействия ФГБОУ ВПО «УДГУ» с предприятиями-работодателями. URL: <http://i.udsu.ru/files/08support/концепция%20взаимодействия%20фгбоу%20впо%20«удгу»%20с%20предприятиями-работодателями.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
2. Встраивание сертифицированных курсов фирмы «1С» в образовательные программы вузов и ссузов. URL: [http://v.1c.eu/firm1c/cso/integration\\_cso\\_courses.php](http://v.1c.eu/firm1c/cso/integration_cso_courses.php) (дата обращения: 31.03.2019).
3. Востребованность специалистов 1С, по данным hh.ru: анализ открытой статистики. URL: [https://infostart.ru/journal/news/mir-1s/vostrebovannost-spetsialistov-1s-po-dannym-hh-ru-analiz-otkrytoy-statistiki\\_806355/](https://infostart.ru/journal/news/mir-1s/vostrebovannost-spetsialistov-1s-po-dannym-hh-ru-analiz-otkrytoy-statistiki_806355/) (дата обращения: 31.03.2019).
4. Карловский А. В. Формирование системы показателей деятельности высшего учебного заведения // Качество, инновации, образование. 2008. С. 16–23.
5. Шаповалов В. Н., Мангушов Д. М. Принципы интеграции вузов и предприятий // Экономика труда. 2017. Т. 4. № 3. С. 273–282.
6. Строгин Р. Г., Гурбатов С. Н., Петров А. В. Интеграция как путь повышения качества востребованности высшего образования. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та, 2006. 24 с.

УДК 631.3

Я. М. Селезнева

студент кафедры информационно-сетевых технологий

А. Д. Жуков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**МОДЕЛЬ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ**

Антиблокировочная система тормозов (АБС, ABS, Antilock Brake System) предназначена предотвратить блокировку колес при торможении и сохранить управляемость автомобиля. Антиблокировочная система повышает эффективность торможения, уменьшает длину тормозного пути на сухом и мокром покрытии, обеспечивает лучшую маневренность на скользкой дороге, управляемость при экстренном торможении.

Когда водитель нажимает на тормоза, возникает давление в гидравлической системе, которая заставляет тормозные колодки давить на диски, что приводит к замедлению автомобиля. Если система ABS обнаруживает, что одно колесо замедляется быстрее, чем остальные (признак блокировки колеса), она автоматически снижает тормозное давление на этом колесе, открывая клапан сброса давления в гидравлической системе. АБС также имеет возможность повышать давление с помощью гидравлического двигателя. Система реагирует на удивление быстро и сравнивает скорости вращения колес много раз в секунду. Системы ABS могут воздействовать только на передние колеса (которые выполняют большую часть работы по торможению) или на все четыре в зависимости от того, на каком автомобиле вы едете [1].

Для рассмотрения эффективности использования антиблокировочной системы используем классическую модель Simulink [2].

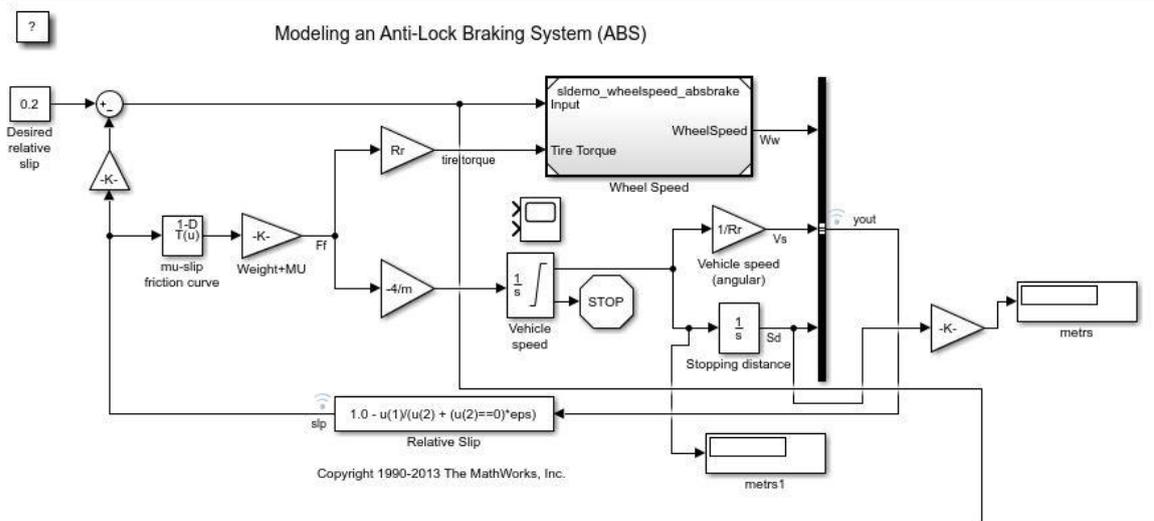


Рис. 1. Модель антиблокировочной тормозной системы

Модель не является достоверной, так как в ней отражено торможение автомобиля с АБС только для одного колеса. Чтобы сделать модель более достоверной было добавлено 4 колеса. Изменённая схема представлена на рис. 1.

Схема имитирует динамическое поведение автомобиля в условиях экстренного торможения. В этой модели скорость колес рассчитывается в подсистеме модели с именем «slidemo\_wheelspeed\_absbrake».

Колеса вращаются с начальной угловой скоростью, которая соответствует скорости транспортного средства до включения тормозов. Угловая скорость автомобиля:

$$\omega_v = \frac{V_v}{R_r},$$

где  $V_v$  – Линейная скорость автомобиля;  $R_r$  – Радиус колеса.

Скольжение:

$$S = 1 - \frac{\omega_{\omega}}{\omega_v},$$

где  $\omega_{\omega}$  – Угловая скорость колеса.

Из этих выражений видно, что скольжение равно нулю, когда скорость колеса и скорость автомобиля равны, и скольжение равно единице, когда колесо заблокировано. Желаемое значение скольжения составляет 0,2. Это максимизирует сцепление между шиной и дорогой и минимизирует тормозной путь с доступным трением.

Меняя значение коэффициента сцепления дороги с колесами автомобиля, можно увидеть различия торможения при различных состояниях дорожного покрытия (см. рис. 2–4).

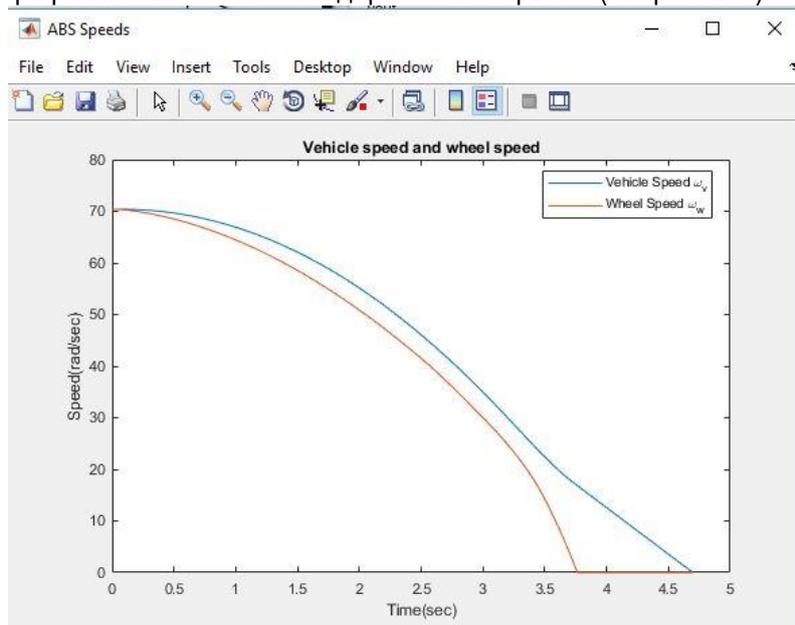


Рис. 2. Торможение на сухой дороге

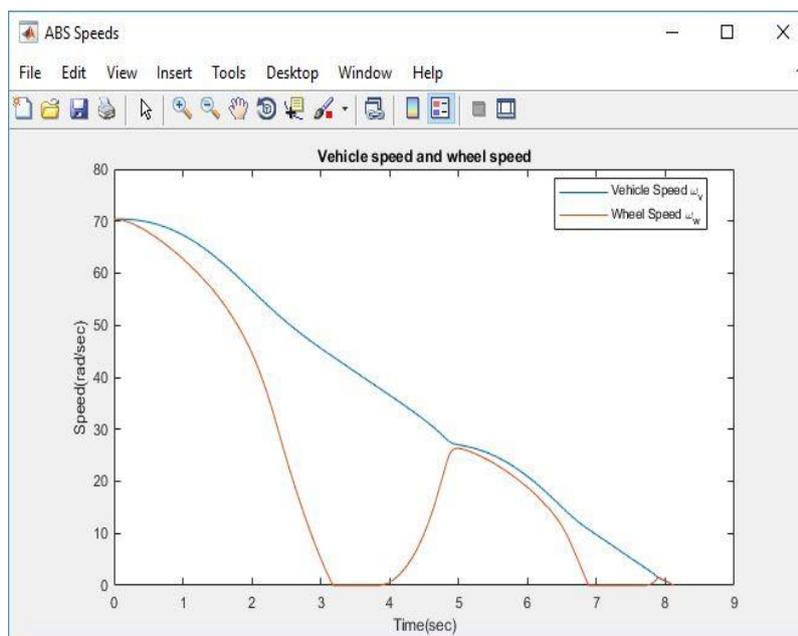


Рис. 3. Торможение на мокрой дороге

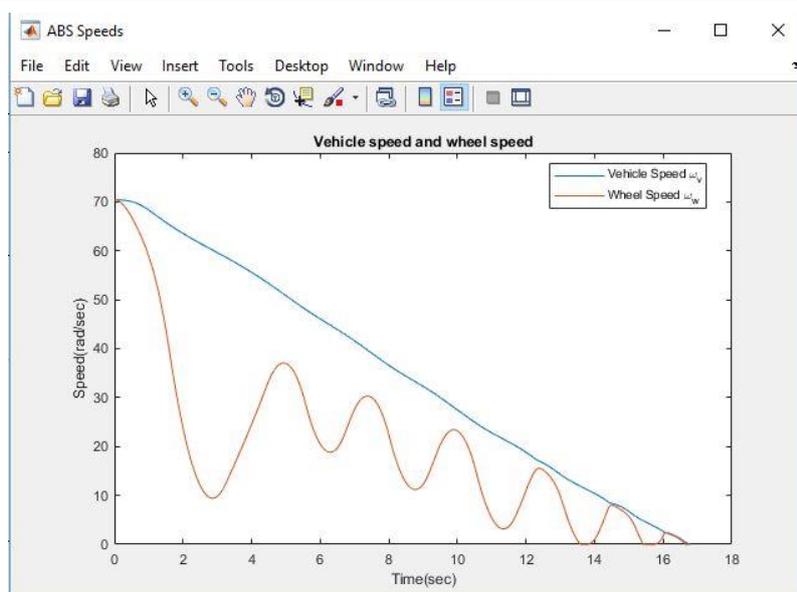


Рис. 4. Торможение на скользкой дороге

Из рисунков видно, что на сухой дороге (рис. 2) торможение происходит более равномерно. При мокрой (рис. 3) и скользкой дороге (рис. 4) скорость колеса то уменьшается, то увеличивается, что свидетельствует о том, что автомобиль пройдет большее расстояние до остановки, чем то, которое он пройдет при сухой дороге.

Длина тормозного пути играет немаловажную роль в процессе эксплуатации транспортного средства. Основным фактором, влияющим на путь, пройденный автомобилем до полной остановки, является состояние дорожного покрытия. В зависимости от погодных условий коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием изменяется, тем самым длина тормозного пути может принимать различные значения. В таблице представлены значения длин тормозного пути при различных состояниях дорожного покрытия.

Таблица

**Длина тормозного пути при различных состояниях дорожного покрытия**

Состояние дорожного покрытия	Тормозной путь, м
Сухая дорога	77.76
Мокрая дорога	114.5
Скользкая дорога	225.9

Также наглядно можно оценить различия торможения автомобиля в различных погодных условиях с помощью графика кривых сцепления. (см. рис. 5).

Верхний график отражает кривую сцепления при сухой дороге, средний – при мокрой дороге, нижний – при скользкой дороге.

Наибольшая устойчивость автомобиля, а соответственно и наилучшее сцепление с дорогой на высоких скоростях проявляется при движении по сухому дорожному покрытию. Данное явление объясняется тем, что при повышении скорости растет частота вертикальных шатаний покрышки, и в итоге шина контактирует с дорожным покрытием наименьшее время, то есть шина обхватывает меньше дорожного покрытия, чем она могла бы обхватить при движении на более низких скоростях. Именно поэтому при движении по сухому дорожному покрытию автомобиль будет сохранять устойчивое состояние при экстренных торможениях за счёт наличия сильного сцепления между дорожным покрытием и колесами.

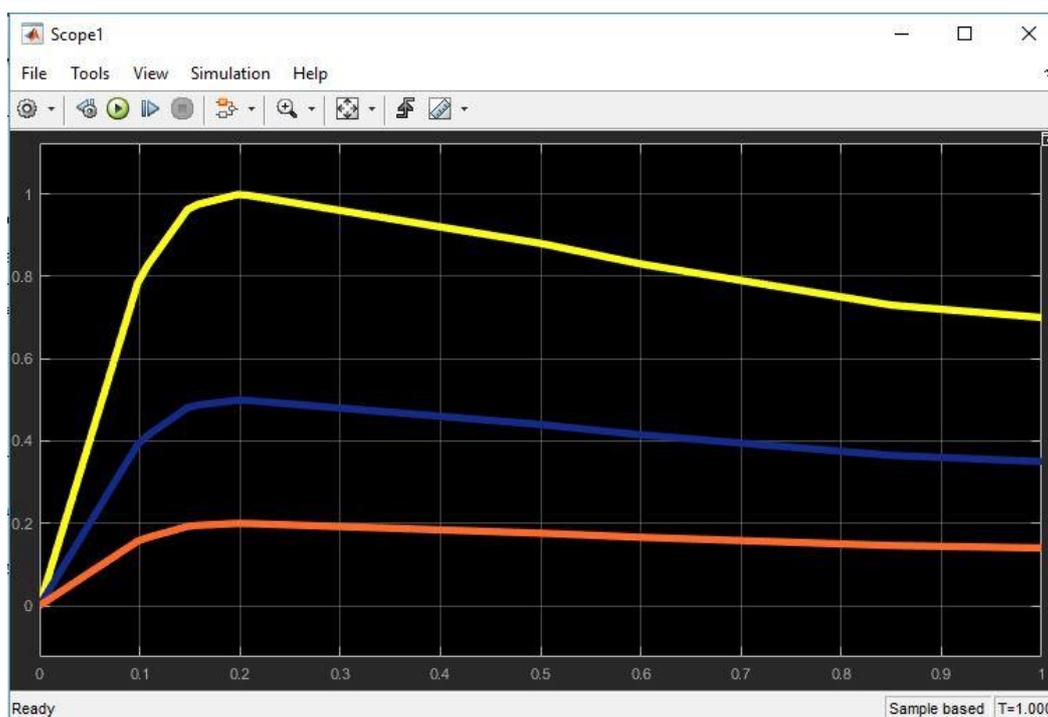


Рис. 5. Кривые сцепления при различных состояниях дороги

В случае присутствия воды на дорожном покрытии в пятне контакта скапливается достаточно большое количество воды, что вызывает уменьшение коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием. Автомобиль становится менее устойчивым и управляемым.

При перемещении по обмороженному дорожному покрытию сцепление с проезжей частью буквально минимизируется, например, так как коэффициент сцепления с проезжей частью станет наименьшим, вследствие этого в предоставленном случае применение антиблокировочной системы станет необходимым во избежание блокировки колес при пришествии критических обстановок [3].

### Заключение

Таким образом, антиблокировочная тормозная система является незаменимой в ситуациях мокрого или скользкого дорожного покрытия при экстренном торможении, позволяющей уменьшить длину тормозного пути и избежать юза колес, тем самым сохраняя управляемость автомобиля и предотвращая аварийные ситуации.

### Библиографический список

1. Антиблокировочная система тормозов MathWorks. URL: <http://systemsauto.ru/active/abs.html> (дата обращения: 20.01.2019).
2. Центр компетенций MathWorks. URL: <http://matlab.exponenta.ru> (дата обращения: 20.01.2019).
3. Разработка программного алгоритмического обеспечения системы АБС для грузовых автомобилей типа «Камаз». URL: <https://nirs.hse.ru/nirs/results/nirs-2015.pdf> (дата обращения: 31.01.2019).

## УДК 681.5.012

**Е. В. Чекаль**

студент кафедры информационно-сетевых технологий

**А. В. Бржезовский** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА WEB-СТРАНИЦАХ**

В настоящее время существует множество технологий для представления данных в графическом виде на web-страницах. Чаще всего многие крупные компании создают графики в сторонних приложениях и публикуют их в виде изображений на web-странице.

Учитывая новые возможности web-технологий и требования к отображению данных на web-страницах, данное представление данных не является репрезентативным, и кроме этого, проявляются все минусы статического изображения, а именно, они не являются интерактивными (не возможно увеличить изображение с учётом периода, уточнить данные в определённой точке и т.д.).

Помимо особенностей просмотра изображений, необходимо учитывать, что каждое изображение графиков, вероятнее всего, придётся переделывать из-за несовместимости цвета графика, его макета, осей и подписей с дизайном и цветовым решением web-страницы. Всё это приводит к увеличению времени вёрстки web-страницы и простую web-сайта.

Графический вид данных (графики, диаграммы и т.д.) можно создавать предварительно в специальных программах, созданных для наглядного представления большого объёма данных, и загружать на web-страницу как изображения растрового формата или рисовать с помощью специальных графических библиотек на самой web-странице.

В табл. 1 представлено сравнение нескольких специальных программ [1], с помощью которых можно наглядно представлять большие объёмы данных.

Таблица 1

**Сравнение специальных программ для наглядного представления больших объёмов данных**

Программы	Microsoft Office Excel	PowerPlugs: Charts	DeltaGraph
Признаки			
Количество видов диаграмм	73	31	84
Появление в других программах в виде панели инструментов	Только в приложениях Microsoft Office	Только в приложениях Microsoft Office	Нет
Анализ данных	Есть	Нет	Есть
Возможность настройки любого элемента диаграммы	Нет	Нет	Есть
Возможность создания пользовательские типы диаграмм	Нет	Нет	Есть
Возможность сохранения диаграммы в виде изображения	Нет, только с помощью других приложений	Есть	Есть

Кроме подобных программ, существуют другие способы для создания графиков на web-страниц: использование элемента «canvas» стандарта HTML5 (HyperText Markup Language) для создания растровых изображений или создание диаграмм в формате SVG (Scalable Vector Graphics) с помощью графических JavaScript библиотек.

Новый элемент «canvas» или холст стандарта HTML5 Холст предназначен для создания растровых изображений на странице средствами графического движка браузера. «canvas» способен изображать не только статические, но и динамические изображения (анимацию). Чаще всего его используют при создании простой деловой графики (диаграммы, графики), а также для рендеринга браузерных игр (чаще всего встречаются в социальных сетях).

SVG – это масштабируемая векторная графика, основанная на текстовой разметке XML (eXtensible Markup Language) [2]. К возможностям SVG относится и анимация, которая может осуществляться с помощью языка SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language), разработанного консорциумом W3C (World Wide Web Consortium), или посредством скриптовых языков на основе спецификации ECMAScript.

В табл. 2 представлено сравнение преимуществ и недостатков использований элементов «canvas» и SVG [3] [4].

Таблица 2

**Преимущества и недостатки SVG и Canvas**

	Canvas	SVG
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> <li>– подходит для создания растровой графики, редактирования изображений и операций, требующих манипулирования на уровне пикселей;</li> <li>– можно сохранить изображение в PNG (Portable Network Graphics) или JPEG (Joint Photographic Experts Group) файл;</li> <li>– стабильная производительность при отрисовке любых 2D-объектов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– позволяет масштабировать изображение при различных разрешениях экрана;</li> <li>– поддерживает анимацию (с помощью различных настроек графических библиотек или JavaScript);</li> <li>– можно получить полный контроль над каждым элементом, используя SVG DOM API (Document Object Model) в JavaScript;</li> <li>– SVG хранится в формате XML, поэтому SVG документы более доступны для индексации по сравнению с элементом canvas</li> </ul>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отрисовка основана на пикселях;</li> <li>– нет API (Application Programming Interface) для анимации;</li> <li>– слабые возможности по рендерингу текста;</li> <li>– не предназначен для создания динамических элементов, так как требует постоянной перерисовки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низкая скорость рендеринга при увеличении сложности рисунка, так как используется модель DOM;</li> <li>– не подходит для создания игр и диаграмм с очень большим объемом данных (возможно лучшим выбором будет комбинация HTML «canvas»+ SVG)</li> </ul>

Как уже выше было сказано, существуют графические JavaScript библиотеки для построения интерактивных и настраиваемых диаграмм, схем и сводных таблиц [5]. Сравнение характеристик некоторых из них представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Сравнение графических JavaScript библиотек**

Показатели	D3.js	Chart.js	Chartlist.js	n3-charts	Highcharts.js	Flot
Версия	5.7.0	2.7.3	0.11.0	2.0.28	7.0.0	0.8.3
Canvas	–	+	–	–	–	+
SVG	+	–	+	+	+	–
Линейные	+	+	+	+	+	+
Гистограмма	+	+	+	+	+	+
Кольцевая	–	+	–	–	–	–
Линейчатая диаграмма	+	+	+	+	+	–
Круговая	+	+	+	+	+	+
Пузырьковая	+	+	+	+	+	+
Биржевая	+	–	–	+	+	+
Гео	–	–	–	–	+	–
Легенды	+	+	-	+	+	+

Показатели	D3.js	Chart.js	Chartlist.js	n3-charts	Highcharts.js	Flot
Зависит от	D3.js	Chart.js-color, Moment	–	–	–	–
Поддержка браузеров	Chrome, Firefox, Opera, Internet Explorer	Chrome 50+, Firefox 45+, Internet Explorer 11, Edge 14+, Safari 9+	IE9, IE10, IE11, Firefox 31, Chrome 35, Safari 7, Safari 8, Android 4.1, Android 4.4, iOS (Safari 7), iOS (Safari 8)	Chrome, Firefox, Opera, Internet Explorer 10	Chrome 1+, Firefox 2+, Internet Explorer 6+, Safari 4+, Android Browser 2+	Chrome, Firefox 2+, Internet Explorer 6+, Safari 3+, Opera 9.5+
Лицензия	Бесплатно	Бесплатно	Бесплатно	Бесплатно	Коммерческая лицензия	Бесплатно

В случае создания web-страниц с помощью CMS (Content management System) необходимо учитывать, что создание графиков и диаграмм возможно с помощью определённых модулей, которые создаются конкретно под каждую CMS отдельно. В случае, если данные модули не удовлетворяют требованиям пользователя, то возможно использование графических JavaScript библиотек (вёрстка web-страниц вне панели администрирования CMS).

В табл. 4 представлен список популярных CMS и их модулей для создания графиков и диаграмм [6].

Таблица 4

**CMS и их модули для создания графиков и диаграмм**

CMS	Модули
WordPress	WORDPRESS CHARTS AND GRAPHS, WordPress Charts, Data Tables Generator, RJ Quickcharts, wpDataTables, M Chart, Responsive Charts, WP Business Intelligence Lite
Joomla	JA Google Chart, vChart
Drupal	Views_dataviz

В рамках дальнейшего исследования планируется сравнение скорости загрузки web-страницы с диаграммами в виде растровых изображений и виде формата SVG, созданного с помощью графических библиотек. А также планируется сравнение быстроты отклика диаграммы, созданной с помощью графических JavaScript библиотек, при изменении данных на сервере (хранение данных в БД SQL (Structured Query Language) и NOSQL, считывании данных из .xml и .xls файлов, использование сокетов).

**Библиографический список**

1. Обзор программных продуктов для создания диаграмм: URL: <http://likbez.sevstar.net/page-2/diagramms/page.htm> (дата обращения: 15.03.2019).
2. SVG – векторный Веб. URL: <https://wwwkv.by/archive/index2010110601.html> (дата обращения: 15.03.2019).
3. SVG или Canvas. URL: <http://w3pro.ru/article/svg-ili-canvas-slozhnosti-vybora> (дата обращения: 15.03.2019).
4. How to Make Charts with SVG. URL: <https://css-tricks.com/how-to-make-charts-with-svg> (дата обращения: 15.03.2019).
5. 24 JavaScript Libraries for Creating Beautiful Charts. URL: <https://www.sitepoint.com/15-best-javascript-charting-libraries> (дата обращения: 15.03.2019).
6. 8 лучших wordpress плагинов для создания графиков и диаграмм. URL: <https://hostenko.com/wpcafe/plugins/8-charts-graphs-wordpress-plugins> (дата обращения: 16.03.2019).

УДК 004.855.5

**М. Д. Борисова, М. С. Савинов**

студенты кафедры инфокоммуникационных систем

**А. И. Веселов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Одним из актуальных направлений в области машинного обучения является умение извлекать информацию из изображений, что требуется в решении таких задач, как обнаружение и распознавание объектов, детектирование различных событий и т.д. Для уменьшения объема информации и упрощения последующего анализа изображений необходимо уметь логически группировать пиксели изображения в соответствии с их принадлежностью различным объектам реального мира. Алгоритмы сегментации решают задачу такой группировки.

Сегментация изображений в общем смысле – это процесс разбиения изображения на сегменты, которые представляют собой множества пикселей, объединенные по тем или иным признакам. Задачей семантической сегментации является присвоение каждому пикселю метки одного из заранее известных классов. На рис. 1 представлен пример решения такой задачи, где белым цветом окрашены пиксели, относящиеся к классу машин, чёрным – к классу фона.

Цель данной работы заключается в проведении сравнения существующих методов сегментации изображений с точки зрения вычислительной сложности и точности.



Рис. 1. Оригинальное изображение (слева) и его семантическая сегментация (справа)

В настоящее время при решении задачи сегментации, как правило, используются свёрточные нейронные сети. Нейронная сеть – это математическая модель, представляющая собой последовательность соединенных и взаимодействующих между собой вычислительных блоков, называемых нейронами. Каждый нейрон выполняет расчет одной элементарной математической операции. Свёрточная нейронная сеть – это такая нейронная сеть, главной операцией которой является операция свёртки.

В данной работе рассматриваются шесть свёрточных нейронных сетей, которые по архитектуре были разделены на три класса:

1. Сети, основанные на использовании так называемых «автокодировщиков» (SegNet [1], U-Net [2], LinkNet [3]).
2. Сети, основанные на принципе иерархической обработки изображений (FCN [4], PSPNet [5]).
3. Сети смешанного типа (ICNet [6]).

Взаимосвязь между этими классами архитектур сверточных нейронных сетей показана на рис. 2.

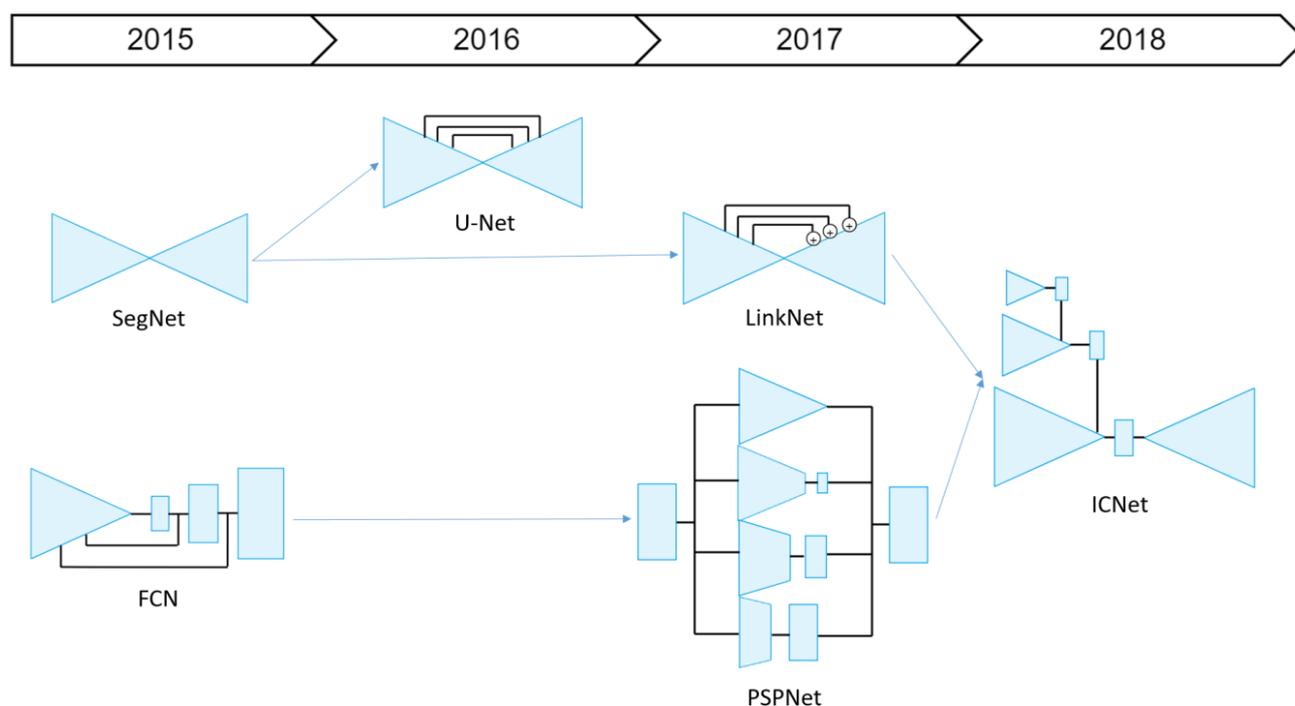


Рис. 2. Эволюция рассматриваемых свёрточных нейронных сетей

Первые архитектуры появились в 2015 году, и их работа была построена на двух разных принципах. Первый принцип – архитектуры-«автокodировщики», состоящие из двух частей: «кодер» для формирования компактного представления изображений, содержащего высокоуровневую информацию о наличии объектов на изображении, и симметричный ему «декодер», выполняющий восстановление карты сегментов из информации об объектах. Второй принцип – это архитектуры, схожие с автокодировщиками, но использующие несимметричные кодер и декодер. По своим схемам архитектуры, основанные на первом принципе, напоминают песочные часы, а на втором – пирамиду.

В силу наличия в этих архитектурах мест, когда изображение «свернуто» до довольно маленьких размеров, подобные сети характеризуются тем, что анализируют в основном низкочастотную компоненту входного сигнала. Отличительной особенностью сетей, развившихся позже, является наличие так называемых «skip»-связей, которые пробрасывают из кодера в декодер информацию о высокочастотной компоненте изображений, за счет чего достигается более высокая точность карты сегментов на контурах.

Таким образом, основная идея сетей для сегментации изображений заключается в использовании автокодировщиков для анализа низкочастотной составляющей с последующем уточнением высокочастотной составляющей за счет «skip»-связей. На основе этой идеи в последующие годы был предложен ряд новых архитектур, отличающихся способами комбинирования низкочастотной и высокочастотной компонент изображения.

В рамках работы были проанализированы следующие четыре архитектуры: FCN, SegNet, PSPNet и ICNet. Каждая модель была обучена на одной и той же выборке Pascal. После обучения все модели были протестированы на тренировочной подвыборке и была посчитана точность полученных с их помощью карт сегментов с использованием критерия IoU (Intersection over Union) [7]. Этот критерий может принимать значения от 0 (полное несовпадение сегментаций) до 1 (полное совпадение) и определяется как отношение площади пересечения двух областей к площади их объединения:

$$IoU = \frac{S_{\text{пересечения}}}{S_{\text{объединения}}}$$

Также была оценена вычислительная сложность каждой сети при обработке одного изображения. Результаты представлены в таблице.

Таблица

**Результаты**

Модель	Точность	Сложность
FCN	0,653	714 008 213
SegNet	0,57	781 735 399
PSPNet	0,812	1 020 028 000
ICNet	0,695	202 390 625

По результатам проведенного исследования лучшей сетью с точки зрения вычислительной сложности оказалась сеть ICNet, а с точки зрения точности – PSPNet. Целью дальнейшей работы является комбинирование сетей ICNet и PSPNet для достижения точности, близкой к точности архитектуры PSPNet и вычислительной сложности, близкой к архитектуре ICNet, а также создание собственной архитектуры нейронной сети с повышенной точностью и низкой вычислительной сложностью.

**Библиографический список**

1. Badrinarayanan V., Kendall A., Cipolla R. SegNet: Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation. 2015.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. 2015.
3. Chaurasia A., Culurciello E. LinkNet: Exploiting Encoder Representations for Efficient Semantic Segmentation. 2017.
4. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation. 2014.
5. Zhao H. et. al. Pyramid Scene Parsing Network / Hengshuang Zhao, Jianping Shi, Xiaojuan Qi, Xiaogang Wang, Jiaya Jia. 2016.
6. Zhao H. et. al. ICNet for Real-Time Semantic Segmentation on High-Resolution Images / Hengshuang Zhao, Xiaojuan Qi, Xiaoyong Shen, Jianping Shi, Jiaya Jia. 2018.
7. Pymagesearch.com. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2016/11/07/intersection-over-union-iou-for-object-detection/> (дата обращения: 15.03.2019).

УДК 519.212.2

**Д. А. Васильев, И. А. Козуб**

студенты кафедры инфокоммуникационных систем

**А. М. Тюриков** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ОБОБЩЕНИЕ ПАРАДОКСА О ДНЯХ РОЖДЕНИЯХ

Парадокс дней рождения – это математическая теория, которая говорит о том, что для группы, состоящей из 23 и более человек, шанс хотя бы одного совпадения дат дней рождения участников этой группы будет больше 50%, а точнее 50,73%. Для того чтобы проиллюстрировать данную теорию, мы проанализировали даты дней рождения в наших группах. Так, на рис. 1 и 2 представлены данные, на основании которых мы убедились, что даже для групп из 20 человек совпадение дней рождения не редкость, а в наших группах данное событие повторилось даже дважды в каждой группе.

09/09 20/09 3/11 2/12 16/12 01/08 4/02 19/02 19/03 19/03  
 10/04 14/05 26/05 10/06 27/06 30/07 21/08 20/08 25/08 25/08

Рис. 1. Даты дней рождения в группе №1

11/12 6/5 18/8 20/1 24/11 8/6 24/8 10/6 18/9 28/11  
 18/8 31/7 20/2 21/12 29/5 29/9 6/5 26/2 8/8 23/11

Рис. 2. Даты дней рождения в группе № 2

Классический парадокс рассчитывается по функции:

$$P_{\text{различ.д.р.}}(m) = \prod_{i=0}^{m-1} \frac{365-i}{365}$$

$$P_{\text{повтор.д.р.}}(m) = 1 - P_{\text{различ.д.р.}} \tag{1}$$

где  $m$  – количество человек в группе.

Существует множество обобщений парадокса дня рождений. В данной работе рассматривается два обобщения. Первое обобщение рассмотрено в работе [2], в данном обобщении удачным экспериментом считается тот, в котором одинаковые числа повторяются в каждой выборке. Второе обобщение заключается в ситуации, когда в каждой выборке повторяются числа, повторяющиеся во всех остальных выборках, длина которых одинаковая.

Целью работы стал расчёт вероятностей для второго обобщения парадокса дней рождения и вывод функции для нахождения нижней границы вероятности рассматриваемого обобщения. В качестве успешного эксперимента для выбранного обобщения на рис. 3 представлен пример. На данном рисунке пара чисел 48 встречается в каждой из 4 выборок значений, где длина одной выборки равна 10. Для обобщения представленного в работе [2] на рис. 4 также представлен удачный эксперимент, однако для двух выборок, представленных на рис. 1 и 2 эксперимент, будет считаться неудачным.

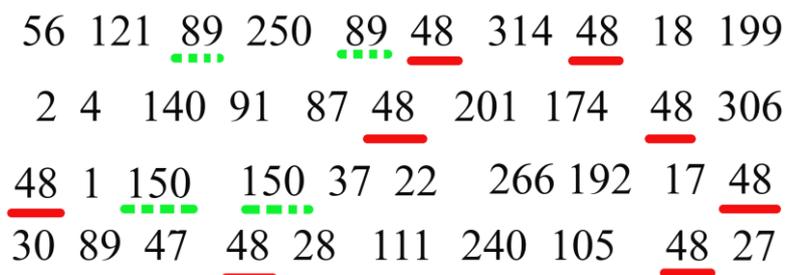


Рис. 3. Пример успешного эксперимента при рассмотрении второго обобщения

Для выполнения поставленных задач была создана программа, которая моделирует необходимую ситуацию и за тем, после ряда повторяющихся экспериментов выводит вероятностную оценку. На рис. 4 приведён алгоритм работы моделирующей программы.

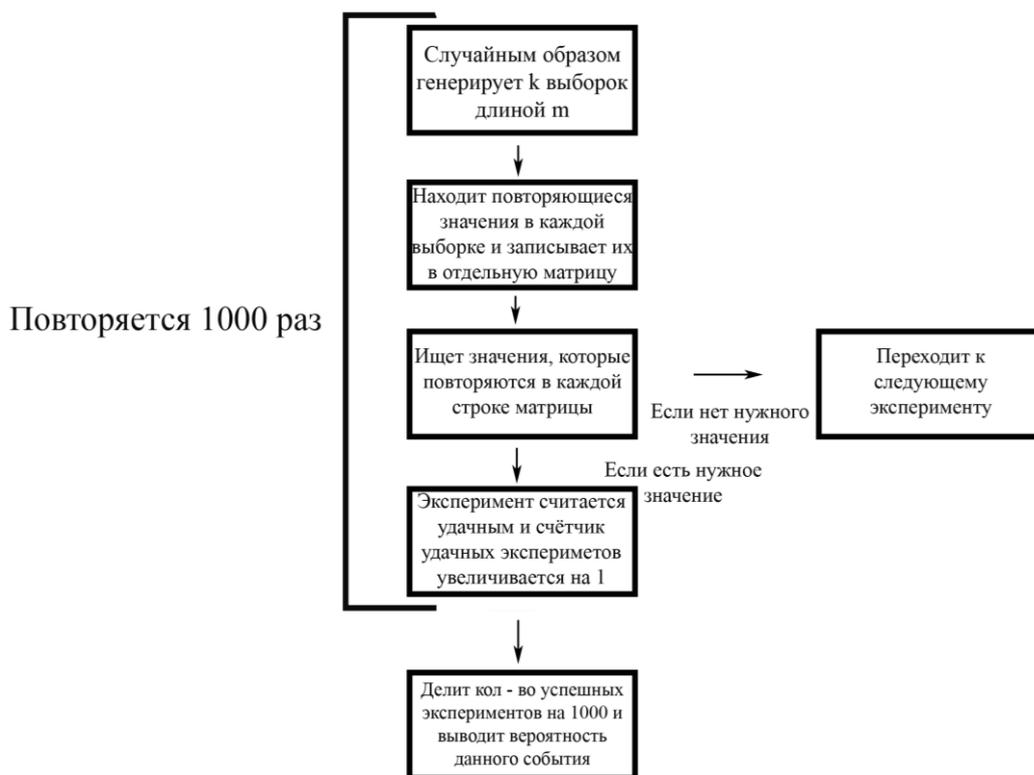


Рис. 4. Алгоритм работы моделирующей программы

Для определения минимально необходимого числа элементов в каждой выборке, так что бы вероятность успешного эксперимента была больше 50%, была использована моделирующая программа. Полученные результаты приведены в табл. 1:

Таблица 1

**Результаты расчётов моделирующей программы**

<i>k</i>	1	2	3	4	5	6
<i>m</i>	23	120	220	310	385	452
<i>P</i>	0,507	0,502	0,508	0,503	0,505	0,501

где *k* – кол-во выборок в одном эксперименте, *m* – мощность одной выборки, *P* – вероятность того, что хоть одна пара элементов повторяется в каждой выборке.

Результаты для обобщения [2]

$k$	1	2	3	4	5	6
$m$	23	16	48	86	123	158
$P$	0,507	0,504	0,503	0,514	0,509	0,502

где  $k$  – кол-во выборок в одном эксперименте,  $m$  – мощность одной выборки,  $P$  – вероятность того, что хоть одна пара элементов повторяется в каждой выборке.

По результатам табл. 1 были построены графики и подтверждающие, что функция классического парадокса растёт гораздо быстрее. Данные графики продемонстрированы на рис. 5.

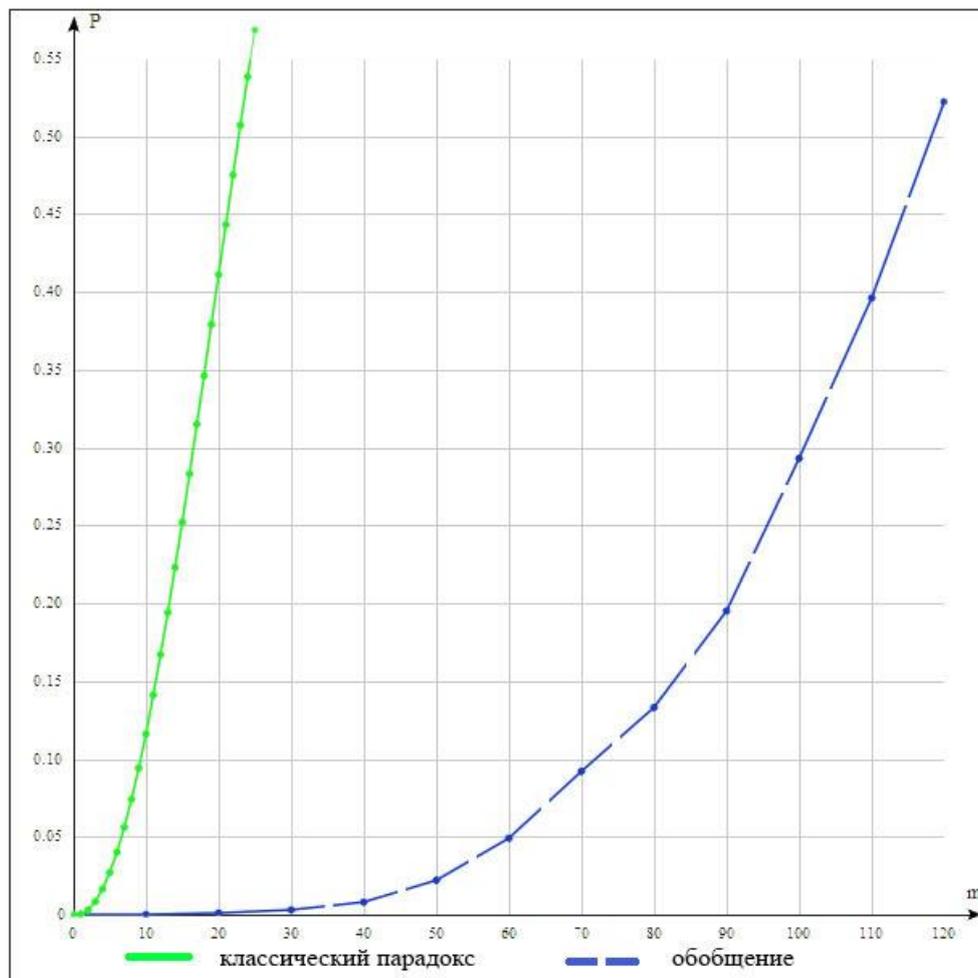


Рис. 5. Сравнение роста функций классического парадокса и обобщения для этого парадокса

Выведенная функция для оценки нижней границы выглядит подобным образом:

$$P(n, m, k) \geq P(n, m, 1) \times \left(1 - \left(1 - \frac{1}{n}\right)^m - C_m^1 \times \frac{1}{n} \times \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{m-1}\right)^{k-1}, \quad (2)$$

где  $n$  – кол-во дней в году,  $m$  – кол-во людей в группе,  $k$  – кол-во выборок в одном эксперименте

Так, пример расчёта по формуле (2) для входных данных  $n = 365$ ,  $m = 120$ ,  $k = 2$  выглядит так:

$$P(365, 120, 2) \geq P(365, 120, 1) \times \left(1 - \left(\frac{364}{365}\right)^{120} - \frac{120}{365} \times \left(\frac{364}{365}\right)^{119}\right).$$

После того, как был произведён расчёт по функции, полученные данные можно сравнить с данными полученными путём моделирования. Тогда станет заметно, что значения вероятности 0,502, полученное через моделирование и вероятность 0,022, полученную через расчёт по функции, значительно различаются. На рис. 6 видно, что график, построенный по результатам моделирования, возрастает

гораздо быстрее, чем по выведенной функции. Не совершенство функции можно объяснить, тем что она учитывает только единичное повторение значений внутри одной выборки, игнорируя возможную вторую и далее повторяющиеся пары. Поэтому в дальнейшем планируется продолжать работу над выводом формулы, так что бы она давала более близкие значения к результатам моделирования.

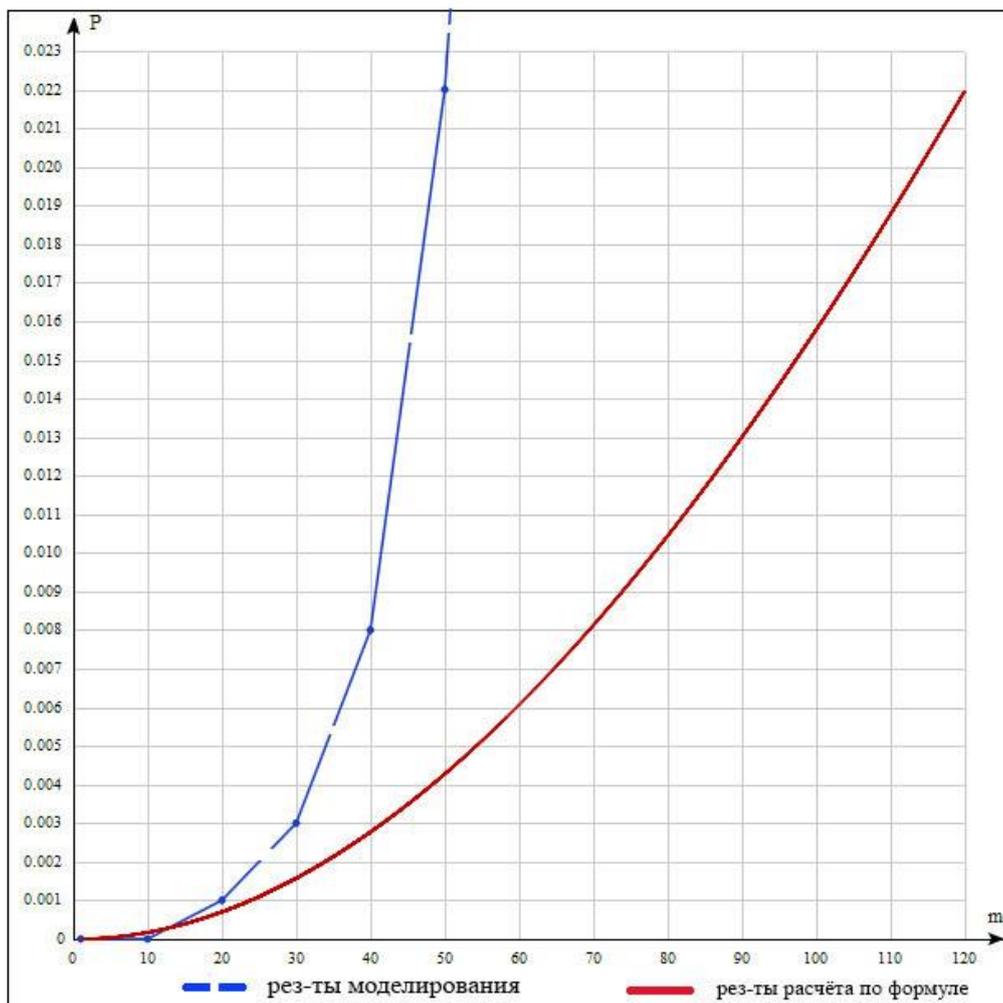


Рис. 6. Сравнение графиков по результатам моделирования и расчёта по функции

В данной работе предложено обобщение для классического парадокса дней рождения, а также проведено сравнение с обобщением из работы [2]. В результате исследования было произведено сравнение минимальных длин таких выборок, при которых бы вероятность успешного эксперимента была больше 50%. Для предложенного эксперимента полученные значения длины выборки увеличиваются с увеличением количества выборок в одном эксперименте. В то время, как в работе [2] минимальная длина выборки получается при двух выборках в одном эксперименте.

#### Библиографический список

1. Секей Г. Парадоксы в теории вероятностей и математической статистике. М.: МИР, 1990. 240 с.
2. Миронкин В. О., Чухно А. Б. Об одном обобщении парадокса «Дней Рождения» // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 2. С. 69–73.

УДК 004.032.26

**А. А. Васильева**

студент кафедры инфокоммуникационных систем

**М. Р. Гильмутдинов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## О МЕТОДАХ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СОЗДАНЫХ ПРИ УЛИЧНОЙ СЪЁМКЕ В УСЛОВИЯХ ТУМАНА

### 1. Постановка задачи

Созданные при уличной съёмке в условиях тумана фотографии как правило выглядят блёклыми и недостаточно насыщенными, так происходит из-за частиц водяного пара в воздухе, которые поглощают и отражают свет, идущий от наблюдаемых объектов к камере. Под термином «туман» далее будем понимать искажения на изображении, обусловленные воздействием частиц водяного пара на отражённый от сцены свет, который регистрируется на сенсоре. В результате такого воздействия искажаются цвета реальных объектов, а детали сцены становятся плохо различимыми. В данной работе представлено описание одного из эффективных подходов на базе так называемой гипотезы *тёмного канала* (dark channel prior), позволяющий удалить искажения тумана с изображения, а также приведён анализ влияния входных параметров на качество восстановленного изображения.

### 2. Модель изображения, полученного в условиях тумана

Для построения модели изображения, сформированного в условиях тумана, используют следующие компоненты: наблюдаемая сцена, свет, атмосфера и камера. Под атмосферой будем иметь в виду скопление частиц водяного пара в воздухе, которое находится на пути прохождения света от сцены до камеры. Будем полагать, что плотность тумана в каждой точке пространства между сценой и камерой одинакова, т.е. частицы водяного пара распределены равномерно. Камера регистрирует свет от источника, который отражается от поверхности элементов сцены и ослабляется, проходя через частицы, находящиеся в атмосфере. Такое явление называется *прямым затуханием*. Одновременно прямой свет от источника преломляется частицами в атмосфере и также регистрируется камерой. Это явление принято называть *светом атмосферы*.

На рис. 1 схематично представлена описанная модель. Введём более строгое описание рассматриваемой модели, математическая запись которой представлена далее:

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A \cdot (1 - t(x)) \quad (1)$$

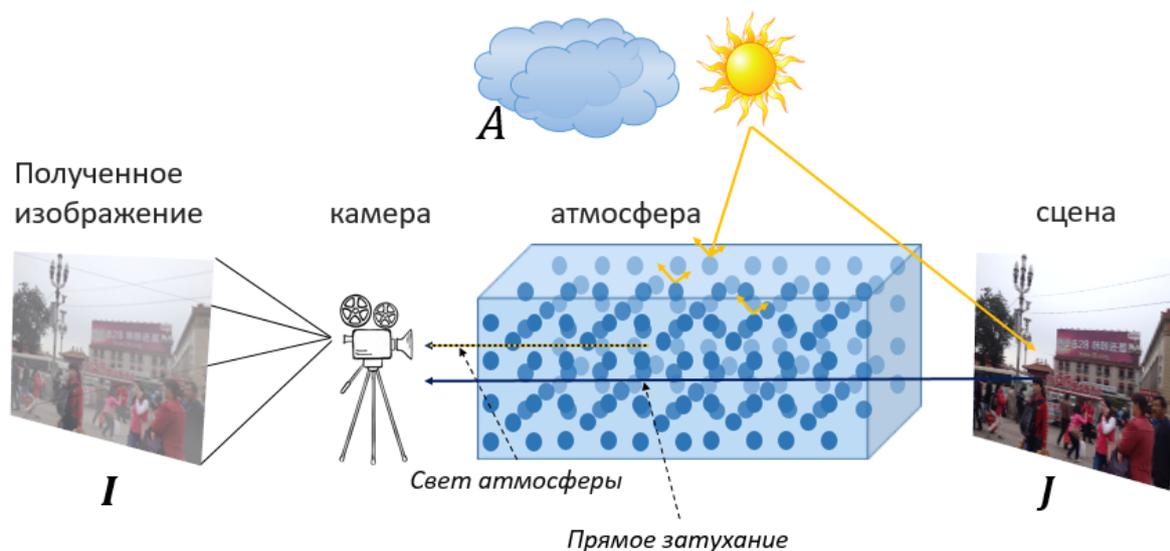


Рис. 1. Модель изображения, полученного в условиях тумана

где  $x$  – позиция пикселя в изображении;  $I(x)$  – регистрируемое на сенсоре значение пикселя в позиции  $x$ ;  $J(x)$  – истинное значение пикселя в позиции  $x$  в исходном изображении без тумана;  $t(x)$  – значение пикселя в позиции  $x$  в карте передачи, физический смысл которой будет описан далее;  $A$  – значение атмосферного света, в данной работе предполагается, что это константное значение каждого канала RGB для всего изображения.

В формуле (1) представлены два слагаемых, которые описывают два явления: слагаемое  $J(x) \cdot t(x)$  отражает *прямое затухание*, а  $A \cdot (1 - t(x))$  – вклад *света атмосферы*. Параметр  $t$  называется *коэффициентом передачи*, он связан с распределением тумана на объектах, он принимает вещественное значение от «0» до «1», где «0» означает абсолютно невидимый объект, закрытый туманом, а значение «1» соответствует случаю отсутствию тумана, т.е.  $I = J$ . В выражении ниже приведена модель зависимости коэффициента передачи от расстояния и свойства тумана.

$$t(x) = e^{-\beta d(x)}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент затухания атмосферы;  $d(x)$  – расстояние до объекта, регистрируемого в пикселе  $x$ .

Определить коэффициент затухания атмосферы и расстояние до камеры из исходного изображения затруднительно, поэтому для оценки коэффициента передачи будут использоваться другие выражения. Формула (2) представлена только для того, чтобы отразить физический смысл коэффициента передачи и зависимость его от параметров атмосферы и расстояния.

Для восстановления чистого изображения без искажений тумана необходимо найти параметр  $J$  из уравнения (1):

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A. \quad (3)$$

Таким образом, для позиции  $x$  имеется одно уравнение и три неизвестных:  $J, A, t$ . Поэтому необходимы дополнительные допущения или гипотезы, чтобы найти единственное решение. Одна из популярных гипотез, используемых в данной задаче, *тёмный канал*, описание которого приведено в следующем разделе.

### 3. Тёмный канал

Рассматриваемое изображение состоит из трёх каналов: синий, красный, зелёный (RGB). В работе [1] вводится в рассмотрение *тёмный канал*, как вид статистики изображения, сформированного без воздействия тумана, цвета на регистрируемой сцене, как правило, насыщенные. Это означает, что, хотя бы в одном канале значение интенсивности будет небольшим. На этом наблюдении основан *тёмный канал*. Пиксели, значение в одном из каналов которых близко к нулю, называются «тёмными» пикселями, они могут содержаться в тёмных объектах, таких как тени, шины колёс, стволы деревьев, окна в дневную погоду, которые выглядят тёмными и т.д. Тёмные пиксели так же могут быть получены из ярких объектов, таких как листва деревьев, цветы, яркая одежда, дорожные знаки и т.д. В этом случае, когда объект выглядит, например, ярко-зелёным, это означает, что принадлежащий этому объекту пиксель принимает высокое значение только в одном канале, например, зелёном, в то время как в других каналах пиксель принимает низкое значение. Однако из-за тумана реальные цвета объектов изменяются, тёмных пикселей на изображении, подверженном воздействию тумана, практически нет, так как интенсивность каждого из каналов повышается. Математически тёмный канал определяется следующим образом:

$$D(I(x)) = \min_{\Omega} \min_{r,g,b} (I(x)) \approx 0, \quad (4)$$

где  $I$  – изображение без тумана;  $\Omega$  – размер блока, из которого выбирается наименьшее значение для данного пикселя.



Рис. 2. Сравнение тёмного канала на двух типах изображения. (a) – изображение без тумана, (b) – тёмный канал от изображения (a), (c) – изображения, подверженное воздействию тумана, (d) – тёмный канал от изображения (c)

На рис. 2 представлена демонстрация применения тёмного канала к чистому изображению и к изображению, подверженному воздействию тумана. Как видно из рис. 2 тёмный канал от изображения без тумана выглядит более интенсивным, чем от изображения с туманом.

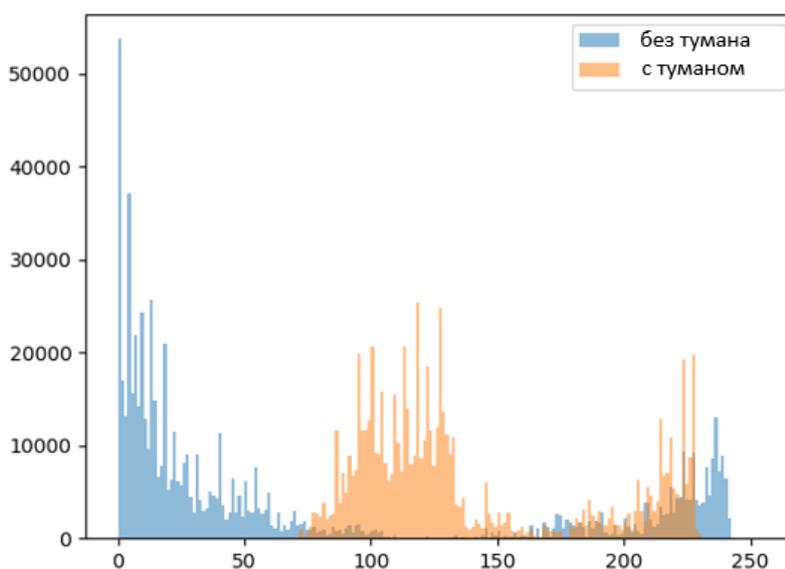


Рис. 3. Гистограмма темных каналов на чистом изображении и изображении подверженному воздействию тумана.

Пример статистик тёмного канала приведён на гистограммах рис. 3. На этих гистограммах видно, что гистограмма тёмного канала от изображения, неподверженного воздействию тумана, сконцентрирована в области низких значений, в то время как основная часть второй гистограммы сконцентрирована в области от 75 до 150.

#### Оценка атмосферного света с использованием тёмного канала

В работе [1] была предложена процедура оценки атмосферного света на основе анализа тёмных пикселей. Как было сказано выше, тёмные пиксели не содержатся в небе, поэтому тёмный канал в области неба имеет большие значения, чем на остальных частях изображения. Можно определить местоположение пикселей, относящихся к небу, путём выбора пикселей, которые принимают максимальное значение в тёмном канале. Для оценки атмосферного света предлагается:

- сформировать массив с максимальными значениями тёмного канала;
- определить позиции, соответствующие этим значениям;
- вычислить средние значения  $R, G$  и  $B$  по найденным позициям, которые обозначим  $A_R, A_G$

и  $A_B$  соответственно.

Сформированные таким образом значения  $A_R, A_G$  и  $A_B$  будут являться оценкой атмосферного света  $A$ . Очевидно, что полученное значение атмосферного света будет зависеть от двух параметров: размера блока тёмного канала  $\Omega_1$  и доли максимальных значений тёмного канала. В последующих

разделах данной работы представлен анализ влияния этих параметров на результат восстановления изображения.

### Формирование карты передачи

После нахождения атмосферного света карту передачи можно выразить из уравнения (1) путём деления обеих частей уравнения на атмосферный свет и взятия тёмного канала от этих частей. В результате карта передачи может быть аппроксимирована по следующей формуле:

$$\tilde{t}(x) = 1 - k \cdot D\left(\frac{I(x)}{A}\right), \quad (5)$$

где параметр  $k$  позволяет ослабить влияние коэффициента передачи при вычислении  $J$ . Сформированная таким способом карта передачи  $\tilde{t}$  внутри одного объекта достаточно близка к истинному значению  $t$ , однако она некорректно отображает края объектов, особенно это заметно при резком переходе от близко расположенного объекта к заднему плану. Для восстановления краёв на карте передачи  $t$  можно воспользоваться фильтрацией с эталоном (guided filtering), представленной в работе [2]. Данная процедура улучшения карты передачи относится к классу soft matting [3, 4].

Как видно на рис. 4 полученные разным способом карты передачи отличаются друг от друга тем, что карта передачи (b) не сохраняет края, в отличие от карты (c), при этом, от того, насколько точно были оценены края в карте передачи, зависит то, будут ли появляться искажения на краях выходного изображения. На рис. 4 (d) видны искажения около краёв деревьев, а именно, задний план – дорога или здания, имеют неравномерную структуру и выглядят неестественно (регионы, выделенные красными прямоугольниками).

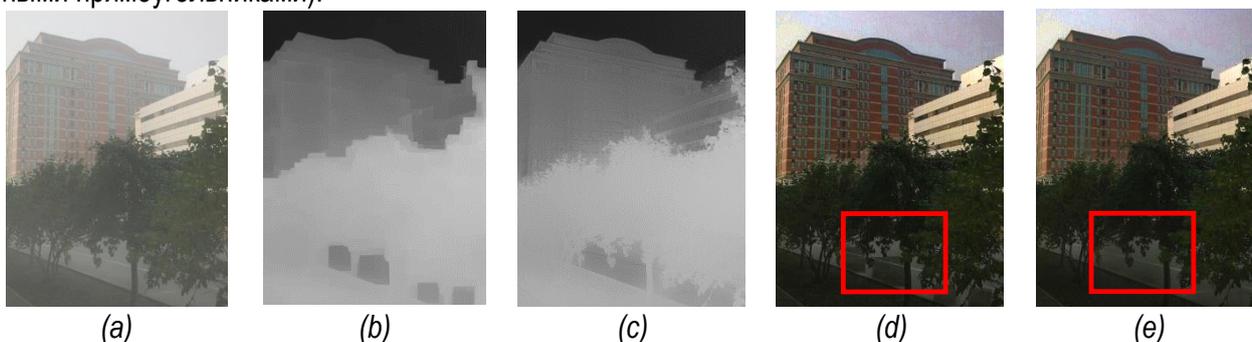


Рис. 4. Влияние оценки карты передачи на выходное изображение. (a) – изображение, подверженное воздействию тумана; (b) – карта передачи, оценённое по формуле (5); (c) – уточнённая фильтром guided карта передачи; (d) – выходное изображение, полученное с использованием карты передачи (b); (e) – выходное изображение, полученное с использованием карты передачи (c)

## 4. Оценка эффективности восстановления изображения

Чтобы оценить эффективность восстановления изображения необходимо ввести основные критерии, которым должен удовлетворять выход алгоритма. Такими требованиями являются:

1) выходное изображение должно быть, как можно точнее приближено к изображению без тумана. На это изображение накладывался искусственный туман, изображение с туманом является входным для алгоритма;

2) выходное изображение должно сохранять цветовой баланс такой же, как в входном изображении;

3) на выходном изображении не должны появляться искажения, например, гало-эффект (гало-эффект – явление на изображении, при котором вокруг краёв объектов появляются видимые искажения в виде светлого ореола).

Качество изображения зависит от следующих входных параметров:

- $k$  – степень удаления тумана,  $k \in [0,1]$ . В данной работе  $k = 0,85$ ;
- $\Omega_1$  – размер блока для вычисления тёмного канала;
- $Z$  – количество пикселей в процентах, которое выбрано для оценки атмосферного света;
- $\Omega_2$  – размер блока для оценки карты передачи;

- $\Omega_3$  – параметр фильтра *guided*, используемого при улучшении карты передачи;
- $\epsilon_{ps}$  – параметр фильтра *guided*, в данной работе  $\epsilon_{ps} = 0.01$ .

Оценить степень похожести входного и восстановленного изображений можно по гистограммам цветовых компонент.

Параметры  $\Omega_1$  и  $Z$  влияют на оценку атмосферного света, который воздействует на цветовой баланс выходного изображения, поэтому, регулируя эти параметры, можно регулировать цветовой баланс. Для того чтобы оценить цветовой баланс в работе вводится соответствующая характеристика. Для каждого канала *RGB* входного изображения считается среднее значение  $R_{avg}$ ,  $G_{avg}$  и  $B_{avg}$ , по формуле (6), в которой  $C$  – это одна из компонент,  $N$  – количество пикселей в изображении,  $I$  – изображение:

$$C_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^{N-1} I^C(x). \quad (6)$$

Затем вычисляются отношения среднего значения компоненты красного и синего цвета к зеленому, т.е.  $\frac{R_{avg}}{G_{avg}}$  и  $\frac{B_{avg}}{G_{avg}}$ . Аналогичная процедура выполняется для выходного изображения. В выход-

ном изображении средние значения каналов изменятся, так как изображение визуально становится насыщеннее, однако отношения компонент, т.е. цветовой баланс, должны оставаться неизменными. Таким образом, корректировка цветового баланса путём изменения параметров алгоритма сводится к тому, чтобы получить как можно меньшую разницу между отношениями компонент в входном изображении и отношениями компонент в выходном.

Параметры  $\Omega_2, \Omega_3, \epsilon_{ps}$  влияют на оценку карты передачи, при этом, как было показано выше, от оценки карты передачи зависит, будут ли появляться искажения на выходном изображении.

Для оценки вносимых искажений будет использоваться визуальное сравнение между разными результатами, полученными при использовании разных входных параметров. Основным критерием будет то, насколько сильно проявляется гало-эффект на выходном изображении.

## 5. Результаты экспериментов

Для проведения экспериментов были выбраны изображения из тестового множества NTIRE-2018 [5], которые состоят из 45 изображений формата 4K с синтетическим туманом, наложенным на исходное изображение. Таким образом, задача восстановления сводится к формированию выходного изображения, которое должно максимально совпадать с исходным до наложения тумана. Оценка качества выходного изображения и подбор наилучших параметров будет производиться по следующему алгоритму:

1. Фиксируются параметры  $\Omega_2, \Omega_3, \epsilon_{ps}$ . Делается перебор по параметрам  $\Omega_1$  и  $Z$ , получают выходные изображения. По полученным изображениям оценивается смещение цветового баланса, выбираются те параметры  $\Omega_1$  и  $Z$ , для которых было получено наименьшее смещение.

2. Фиксируются параметры  $\Omega_1$  и  $Z$ , выбранные на предыдущем шаге. Делается перебор по параметрам  $\Omega_2, \Omega_3, \epsilon_{ps}$ , выбираются те, при которых выходное изображение содержит меньше всего искажений.

3. Для выбранных параметров  $\Omega_1, Z, \Omega_2, \Omega_3, \epsilon_{ps}$  получают изображения без тумана.

Ниже представлены примеры результатов подбора параметров на основе выбранных критериев.

В табл. 1 представлены результаты оценки цветового баланса при разных параметрах  $\Omega_1$  и  $Z$ . Наилучшие результаты были получены при  $\Omega_1 = 71 \times 71$  и  $Z = 1\%$ .

Таблица 1

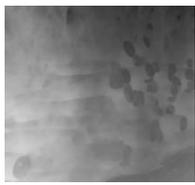
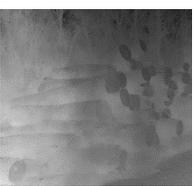
Влияние входных параметров на цветовой баланс изображения

Вход		Выход алгоритма					
		$\Omega=31$		$\Omega=51$		$\Omega=71$	
 $\frac{R}{G} = 0,92$ $\frac{B}{G} = 1,18$	$Z=0,1\%$	$\frac{R}{G} = 0,88$ $\frac{B}{G} = 1,28$		$\frac{R}{G} = 0,89$ $\frac{B}{G} = 1,25$		$\frac{R}{G} = 0,90$ $\frac{B}{G} = 1,24$	
	$Z=0,5\%$	$\frac{R}{G} = 0,88$ $\frac{B}{G} = 1,29$		$\frac{R}{G} = 0,89$ $\frac{B}{G} = 1,26$		$\frac{R}{G} = 0,90$ $\frac{B}{G} = 1,24$	
	$Z=1\%$	$\frac{R}{G} = 0,88$ $\frac{B}{G} = 1,27$		$\frac{R}{G} = 0,90$ $\frac{B}{G} = 1,25$		$\frac{R}{G} = 0,91$ $\frac{B}{G} = 1,24$	

В табл. 2 представлено сравнение влияния параметров  $\Omega_2, \Omega_3$  на карту передачи, а в табл. 3 представлены результаты, построенные на основе карт передачи из табл. 2. Из этих результатов можно сделать вывод, размеры блоков нужно делать больше, так как в этом случае детали на заднем плане (ветви деревьев) более различимы.

Таблица 2

Влияние входных параметров на карту передачи

Вход		Выход алгоритма		
		$\Omega_2 = 21$	$\Omega_2 = 41$	$\Omega_2 = 61$
	$\Omega_3=51$			
	$\Omega_3=71$			
	$\Omega_3=101$			

Влияние входных параметров на выходное изображение

Вход		Выход алгоритма		
		$\Omega_2 = 21$	$\Omega_2 = 41$	$\Omega_2 = 61$
	$\Omega_3=51$			
	$\Omega_3=71$			
	$\Omega_3=101$			



(a1)



(a2)



(a3)



(b1)



(b2)



(b3)



(c1)



(c2)



(c3)

Рис. 5. Сравнительный анализ полученных изображений: (a1), (b1), (c1) – исходные изображения, (a2), (b2), (c2) – изображения, подверженные воздействию тумана, (a3), (b3), (c3) – изображения, полученные на выходе алгоритма

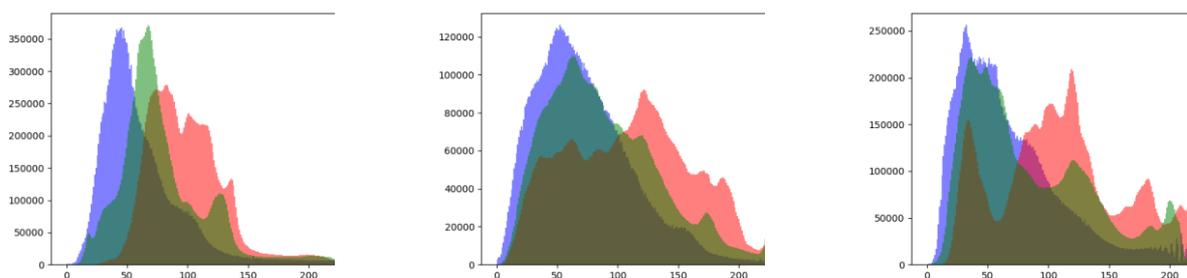


Рис. 6. Гистограммы тестовых изображений из рис. 4

Наилучшими были признаны следующие параметры  $\Omega_1 = 71 \times 71$  и  $Z = 1\%$ ,  $\Omega_2 = 61 \times 61$ ,  $\Omega_3 = 101 \times 101$ ,  $k = 0.85$ . С этими параметрами были получены результаты алгоритма на других изображениях из тестового множества. Затем, для качественного анализа были построены гистограммы исходного изображения, изображения, подверженного воздействию тумана и изображения на выходе алгоритма.

На рис. 5 представлены несколько примеров изображений из тестового множества. Как видно из результатов, изображение на выходе алгоритма выглядит менее затуманенным и содержит больше деталей, чем изображение, подверженное воздействию тумана. Однако алгоритм не полностью восстанавливает исходное изображение, он сохраняет цветовой баланс таким, каким он был в изображении, подверженном воздействию тумана, в то время как исходное изображение выглядит менее синим, по сравнению с выходным изображением.

Из построенных гистограмм на рис. 6 видно, что для каждого тестового изображения статистика изображения, полученного на выходе алгоритма (синяя гистограмма) ближе к исходному изображению (зелёная гистограмма), чем к затуманенному (красная гистограмма).

## 6. Выводы

В данной работе был рассмотрен метод уменьшения искажений на изображениях, сформированных в условиях тумана. В процессе исследования метода, базирующегося на тёмном канале, были выделены следующие недостатки:

- некорректная оценка атмосферного света;
- смещение цветового баланса на выходном изображении;
- появление гало-эффекта на частях изображения, где есть резкий переход от объекта, находящегося близко к камере, к заднему плану.

В работе эмпирическим путём были подобраны оптимальные параметры и произведена оценка эффективности данного метода с помощью численных критериев, которые так же предложены в данной статье, а именно: оценка искажений цветов и оценка смещения гистограмм.

## Библиографический список

1. He K. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior. Thesis 2011.
2. He K., Sun J., Tang X. Guided Image Filtering // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2013. Vol. 35. No X.
3. He K., Sun J., Tang X. Fast Matting Using Large Kernel Matting Laplacian Matrices // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010.
4. Levin A., Lischinski D., Weiss Y. A Closed-Form Solution to Natural Image Matting // CVPR. 2006
5. NTIRE-2018 Dataset for Image Dehazing. URL: <http://www.vision.ee.ethz.ch/ntire18/> (дата обращения: 01.05.2019).

УДК 621.391

**А. М. Вересова**

студент кафедры инфокоммуникационных систем

**А. А. Овчинников** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОННОГО АЛГОРИТМА ИНВЕРТИРОВАНИЯ БИТ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ПАКЕТОВ ОШИБОК

### Введение

Задача исправления ошибок является неотъемлемой частью современных систем передачи данных. Традиционные алгоритмы помехоустойчивого кодирования [1-3] позволяют решить данную задачу в каналах с независимыми ошибками. Однако во многих реальных системах каналы обладают памятью, что приводит к задаче декодирования пакетов ошибок.

### Канал Гилберта – Эллиота

Для описания каналов связи, как правило, используются приближенные математические модели [4]. Одной из таких моделей является канал Гилберта – Эллиота (рис. 1). Данная модель задаётся марковской цепью с двумя конечными состояниями: плохим ( $B$ ) и хорошим ( $G$ ). Для полного описания модели необходимо задать четыре параметра: переходные вероятности  $P_{BG}$  и  $P_{GB}$  и вероятности ошибок в каждом состоянии  $p_e^G$  и  $p_e^B$ , где  $0 \leq p_e^G \ll p_e^B \leq 1$ .

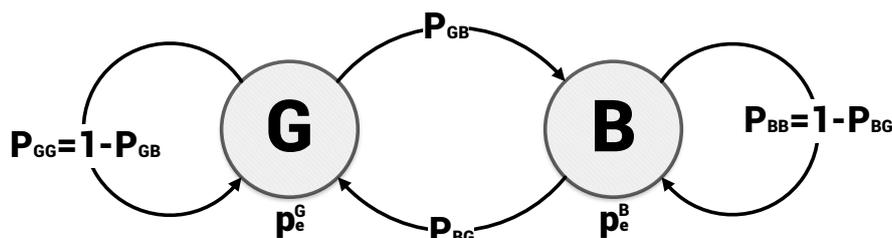


Рис. 1. Модель Гилберта – Эллиота

Зная вероятности переходов, можно вычислить вероятности нахождения канала в плохом или хорошем состоянии согласно следующим выражениям:

$$P(G) = \frac{P_{BG}}{P_{BG} + P_{GB}}; \quad P(B) = \frac{P_{GB}}{P_{BG} + P_{GB}}.$$

Вероятность того, что канал будет находиться в плохом состоянии в течение некоторого времени  $t$ , имеет геометрическое распределение и описывается выражением

$$\Pr\{t\} = (P_{BB})^{t-1} \cdot P_{BG},$$

откуда можно найти вероятность того, что время нахождения в плохом состоянии не превысит заданное значение  $T$ :

$$\Pr\{t \leq T\} = \sum_{t=1}^T \Pr\{t\} = \sum_{t=1}^T (P_{BB})^{t-1} \cdot P_{BG}.$$

При малых вероятностях перехода из одного состояния в другое, система может находиться в одном состоянии достаточно долго, что приводит к возникновению так называемых пакетов ошибок.

### Коды с малой плотностью проверок на чётность

Коды с малой плотностью проверок на чётность (low-density parity-check, LDPC), предложенные Р. Галлагером в 1962 г. [5], являются частным случаем линейных кодов, и, следовательно, могут задаваться некоторой проверочной матрицей  $H$ . Особенностью LDPC-кодов является то, что  $H$  имеет разреженную структуру, то есть малое количество ненулевых позиций относительно размера матрицы.

Благодаря такой структуре, низкоплотностные коды малочувствительны к группированию ошибок и могут успешно использоваться для передачи по каналам с памятью.

Для задания проверочной матрицы низкоплотностного кода чаще всего используются блочные конструкции, в которых каждый блок представляет собой некоторую степень циклической перестановки единичной матрицы [5,6]:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, проверочная матрица LDPC-кода, состоящая из  $\gamma \times \rho$  блоков, имеет вид

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11} & \mathbf{C}_{12} & \dots & \mathbf{C}_{1\rho} \\ \mathbf{C}_{21} & \mathbf{C}_{22} & \dots & \mathbf{C}_{2\rho} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{C}_{\gamma 1} & \mathbf{C}_{\gamma 2} & \dots & \mathbf{C}_{\gamma\rho} \end{bmatrix}.$$

Для описанной структуры существует процедура, позволяющая определить максимальный размер гарантированно исправляемого пакета ошибок.

#### Алгоритмы декодирования

Одним из классических методов декодирования низкоплотностных кодов является алгоритм инвертирования бит [2,5]. Обозначим  $\mathbf{y}$  принятую из канала последовательность. Алгоритм состоит из следующих шагов:

- 1) Вычисление синдрома  $\mathbf{S} = \mathbf{yH}^T$  в  $GF(2)$ .
- 2) Вычисление вектора  $\mathbf{f} = \mathbf{SH}$  в кольце целых чисел.
- 3) Инвертирование элементов  $\mathbf{y}$  на позициях, соответствующих максимальным элементам последовательности  $\mathbf{f}$ .

Выход из алгоритма происходит при нахождении кодового слова (выполнение равенства  $\mathbf{S} = 0$  на первом шаге) или при достижении максимального числа итераций.

Элементы вектора  $\mathbf{f}$ , полученного на шаге 2, показывают количество ненулевых элементов соответствующего столбца проверочной матрицы, совпадающих с ненулевыми элементами синдрома. Таким образом, суть алгоритма заключается в нахождении минимальной комбинации столбцов, образующих полученный синдром.

Алгоритм инвертирования бит может быть применён для исправления группирующихся ошибок. Однако число ошибочных позиций внутри пакета может оказаться достаточно большим, и тогда столбцы, не соответствующие пакету, также будут иметь много общих ненулевых позиций с синдромом. В таком случае классический алгоритм не только не исправит ошибки, но и увеличит их количество за счёт инвертирования «ложных» позиций.

Зная параметры канала, можно определить примерный размер пакета ошибок и запретить инвертирование позиций за пределами пакета. Таким образом, предлагается оконный вариант алгоритма инвертирования бит. Оконный алгоритм заключается в выполнении шагов 2 и 3 классического алгоритма только для подвектора  $\mathbf{f}$  и подматрицы  $\mathbf{H}$ , соответствующих некоторому интервалу заданного размера. При этом позиции начала окна рассматриваются последовательно, начиная с единицы, и, если при достижении максимального числа итераций кодовое слово не найдено, окно сдвигается на одну позицию вправо.

#### Результаты моделирования

Для проведения моделирования была сгенерирована случайная блочно-перестановочная матрица с параметрами  $\gamma = 4$ ,  $\rho = 8$  и  $m = 31$ , где  $m$  – размер блока. При помощи некоторой процедуры

было определено, что размер  $b$  гарантированно исправляемого пакета ошибок для данной матрицы равен  $m - 1 = 30$ .

На рис. 2 показана зависимость вероятности ошибки на блок при использовании различных размеров окна в канале с искусственно наложенными пакетами длиной  $b$  с вероятностью ошибки внутри пакета  $p = 0,5$ .

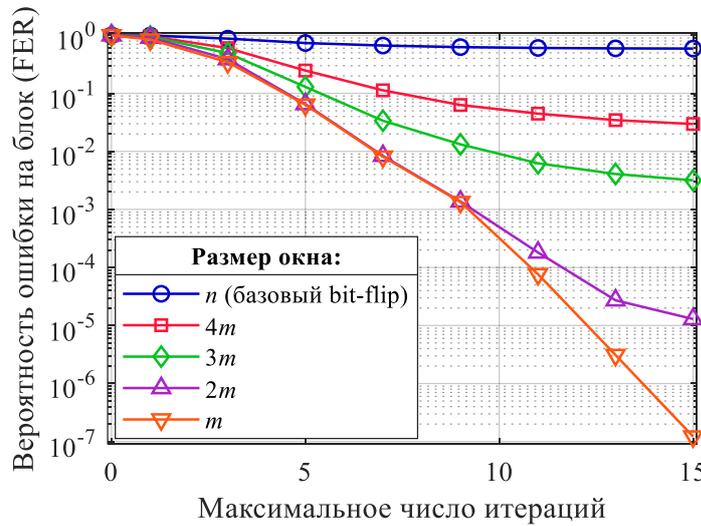


Рис. 2. Вероятность ошибки на блок при использовании оконного алгоритма

Можно заметить, что при использовании классического алгоритма инвертирования бит кривая вероятности ошибки не опускается ниже значения 0,5. С приближением размера окна к размеру пакета вероятность ошибки понижается и для окна размером  $m$  достигает значения  $10^{-7}$  при ограничении в 15 итераций.

Для моделирования передачи в канале Гилберта – Эллиота были установлены следующие параметры:  $p_e^G = 0$ ,  $p_e^B = 0,5$  и  $P_{GB} = 10^{-6}$ , а также условие обязательного вхождения в плохое состояние. Размер пакета при передаче в таком канале случаен и зависит от  $P_{BG}$ . С использованием вышеописанных выражений было установлено, что при  $P_{GB} = 0,074$  вероятность того, что время нахождения канала в плохом состоянии превысит  $b$ , составляет примерно 10%, при  $P_{GB} = 0,096$  – 5%, а при  $P_{GB} = 0,143$  – 1%.

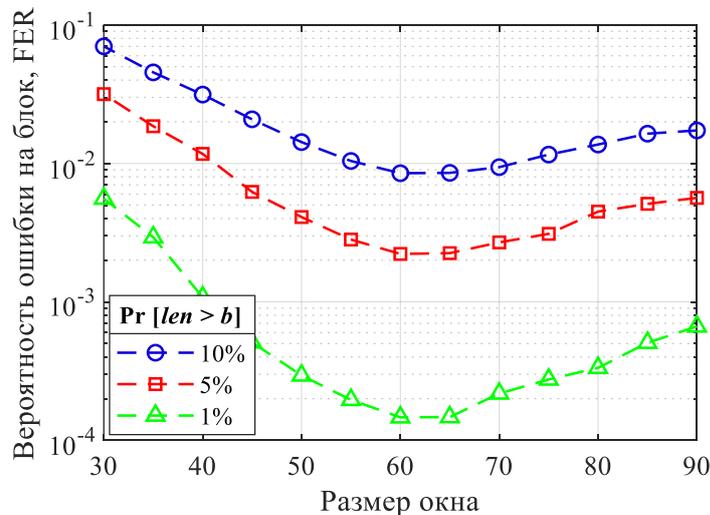


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки от размера окна в канале Гилберта – Эллиота

На рис. 3 показана зависимость вероятности ошибки на блок от размера окна при использовании оконного алгоритма инвертирования бит в канале Гилберта – Эллиота с ограничением в 15 итераций. График показывает, что оптимальным размером окна для рассматриваемых случаев является  $2b = 60$ .

На рис. 4 представлена зависимость вероятности ошибки от максимального числа итераций алгоритма при использовании окна размером  $2b$ . Можно отметить, что, несмотря на некоторую вероятность выхода размера пакета за предел гарантированно исправляемой длины, большая доля ошибок исправляется.

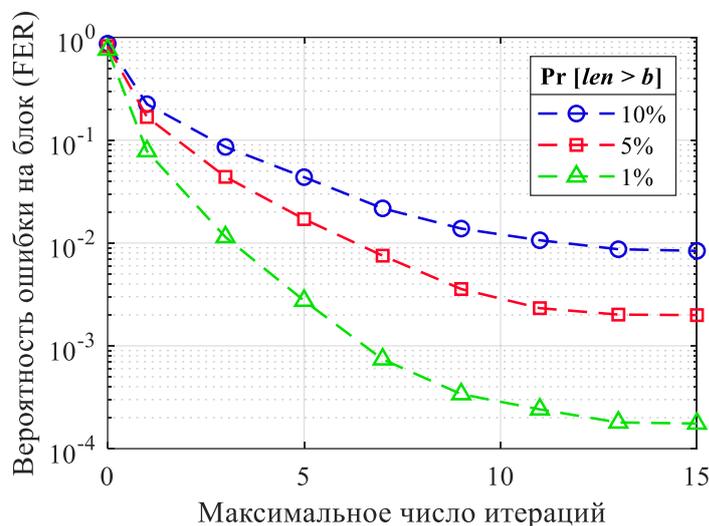


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки от числа итераций алгоритма в канале Гилберта – Эллиота

### Заключение

В работе описана модель канала Гилберта – Эллиота и рассмотрено применение низкоплотностных кодов в каналах с группирующимися ошибками. Изучен алгоритм инвертирования бит и предложен его оконный вариант. Проведено моделирование в канале с искусственно наложенными пакетами ошибок фиксированной длины и в канале Гилберта – Эллиота. Результаты моделирования показали, что использование оконного алгоритма значительно повышает эффективность работы декодера в каналах с памятью по сравнению с классическим алгоритмом.

### Библиографический список

1. Robert H. Morelos-Zaragoza. The Art of Error Correcting Coding. 2nd ed. New York: Wiley, 2006. 278 p.
2. Lin S., Ryan W. Channel Codes: Classical and Modern. Cambridge University Press, 2009. 710 p.
3. Крук, Е. А., Овчинников А. А. Основы теории кодирования. СПб.: ГУАП, 2013. 106 с.
4. Блох Э. Л., Попов О. В., Турин В. Я. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. М.: Связь, 1971. 312 с.
5. Gallager R. G. Low Density Parity Check Codes. Cambridge, MA: MIT Press, 1963. 90 p.
6. Иванов Д. О., Козлов А. В., Овчинников А. А. Об одной конструкции кодов с малой плотностью проверок на четность с циклической структурой макроблоков // Информационно-управляющие системы. 2017. № 2. С. 58–66.

УДК 681.58, 004.432

**Н. В. Зеулин**

магистр кафедры инфокоммуникационных систем

**М. М. Афанасьев**

аспирант кафедры инфокоммуникационных систем

**А.М. Тюрликов** – научный руководитель – доктор технических наук, профессор

## ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ К СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ZABBIX

Важной частью системы интернета вещей является система мониторинга, позволяющая собирать данные с устройств и вести их наблюдение в реальном времени. Одной из таких систем является Zabbix. Изначально Zabbix задумывался не как платформа для создания интернета вещей, а как средство для сбора информации о состоянии вычислительных машин, например серверов.

Подключение новой машины выполняется пользователем, обладающим правами создания профиля новой машины – хоста. После создания хоста администратор должен задать в виде специальных объектов те параметры и измерения, которые машина будет отправлять на сервер Zabbix. Такая процедура регистрации нового устройства не подойдет для использования в интернете вещей, так как времязатратна и, скорее всего, не будет интуитивно понятна для неподготовленного пользователя.

Еще одной проблемой, связанной с организацией системы на базе Zabbix, является то, что по умолчанию передача данных производится вызовом утилиты `zabbix_sender` на вычислительной машине. Утилита реализует протокол Zabbix Sender Protocol, который, по сути, заключается в отправке TCP-пакета с полезной нагрузкой в виде JSON-строки с заданными полями [1]. Стандартные библиотеки для работы с встраиваемыми системами, например на базе Arduino, не содержат готовой реализации протокола, что делает невозможным подключение таких устройств без написания собственной реализации.

Целью данной работы является решение проблемы автоматизации подключения устройств, совместимых с Arduino IDE, к системе Zabbix. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) создать утилиту для автоматизации процесса регистрации новых устройств;
- 2) реализовать Zabbix Sender Protocol для Arduino IDE.

Постановка цели и задач накладывает на итоговую реализацию следующие ограничения:

- 1) создаваемая утилита должна иметь дружелюбный пользовательский интерфейс;
- 2) добавление новых устройств через утилиту должно занимать меньше действий, чем при использовании веб-интерфейса;
- 3) реализация Zabbix Sender Protocol должна быть выполнена на языке Си для совместимости с Arduino IDE.

Рассмотрим концепцию (архитектуру) проекта, схематически представленную на рис. 1.

Пользователь приобретает устройство с уникальным серийным номером и хочет подключить его Zabbix, для чего использует утилиту Zabbix CLI, позволяющую создавать профиль устройства без использования веб-интерфейса. В процессе работы с утилитой пользователь вводит серийный номер устройства, после чего с сервера приходят данные о тех параметрах, которые необходимо зарегистрировать в Zabbix. После сбора всей необходимой информации утилита отправляет набор запросов на сервер Zabbix, в результате чего создается профиль нового устройства с набором параметров, определяемым производителем. После создания профиля устройства с помощью Zabbix CLI пользователь может скачать с сервера производителя готовый код для своего устройства.

Утилита Zabbix CLI представляет собой скрипт, написанный на языке Python, предоставляющий интуитивно понятный пользовательский интерфейс с пояснениями на каждом этапе работы. Утилита предоставляет минимальный функционал в виде добавления нового устройства и скачивания скетча устройства. Обмен запросами между утилитой и сервером Zabbix ведется при помощи Zabbix API - программного интерфейса, который позволяет выполнять такие запросы, как создание и удаление хостов,

добавление новых объектов, поиск и т.п. [2]. В рамках поставленных задач возможности утилиты были ограничены двумя функциями: создание профиля нового устройства и скачивание кода программы.

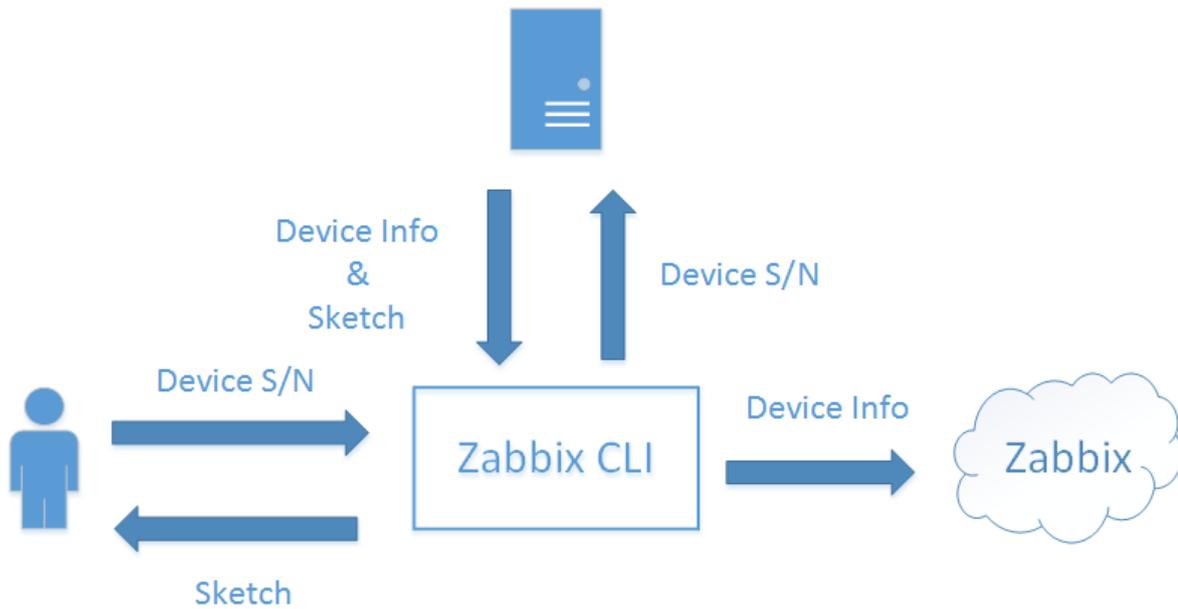


Рис. 1. Концепция проекта

Типичный рабочий поток при использовании программы приведен на рис. 2.

```

Further actions require authorization. Please, login first

User: Admin
Password: zabbix

Select one of the following:
1. Register new device in Zabbix
2. Download sketch
> 1

Enter new device name. Note, that name is case-dependant
> Intel Edison
Enter serial code
> edison
Connecting to manufacturer's server...
Connected!

The following device is to be created
Zabbix profile name: Intel Edison
Device name: Edison BlackBox
Serial code: edison
Parameters: Resistance, Temperature
Continue? (y/n): y

Intel Edison is added to Zabbix server
Download sketch? (y/n): y
Intel Edison.ino saved to /home/nikita
    
```

Рис. 2. Пример работы Zabbix CLI

Сервер производителя представляет собой сервер на платформе Apache с фреймворком Flask, используемым для организации взаимодействия с Zabbix CLI. На сервере находится база данных SQLite, в которой содержится таблица с данными об устройствах производителя. Таблица включает в себя три поля: код устройства, полное название устройства и список параметров для регистрации в Zabbix. Для получения информации о параметрах устройства и скачивания кода программы выполняется POST-запрос по определенному адресу.

Программная реализация протокола Zabbix Sender Protocol заключается в отправке JSON-строки, которая имеет вид, представленный в табл. 1.

Таблица 1

**Вид сообщения Zabbix Sender Protocol**

Заголовок		Полезная нагрузка
ZBXDx01	Длина (8 байт)	{“request”:“sender data”, “data”:[{“host”:<host>,”key”:<key>,”value”:<value>}]}

Заголовок включает в себя преамбулу и длину полезной нагрузки, под которую отводится 8 байт. Поле "request" содержит тип запроса, который отправляется на сервер. Для Zabbix Sender Protocol это поле всегда принимает значение "sender data". Поле "data" содержит список структур, каждая из которых содержит данные об одном измерении. Поле "host" содержит имя хоста на сервере Zabbix, поле "key" – уникальное название измерения, поле "value" – значение типа, указанного в Zabbix при создании объекта с именем <key>.

Также существует возможность посылать несколько измерений сразу, для этого необходимо использовать дополнительное поле "clock". Поле "clock" принимает значение момента времени в секундах, в который проводилось измерение. Формат такого сообщения описан в табл. 2.

Таблица 2

**Вид сообщения Zabbix Sender Protocol с использованием поля "clock"**

Заголовок		Полезная нагрузка
ZBXDx01	Длина (8 байт)	{“request”:“sender data”,“data”: [{"host":<host1>,”key”:<key1>,”value”:<value1>,”clock”:sec}, {"host":<host2>,”key”:<key2>,”value”:<value2>,”clock”:sec}], “clock”:sec}

Реализация протокола Zabbix Sender Protocol на Си представлена в Приложении 1. В случае если синхронизация по времени есть, можно передавать сразу несколько измерений. Пример реализации протокола с полем "clock" с передачей нескольких измерений в одном сообщении представлен в Приложении 2. Синхронизация по времени может быть произведена без применения внешнего RTC модуля способом, предложенным в [3].

В качестве устройств интернета вещей были выбраны Intel Edison [4] с платой расширения Arduino Breakout Board и NodeMCU [5] – плата на базе WiFi-модуля ESP8266. К Intel Edison было подключено два датчика: датчик освещенности (фоторезистор) и датчик температуры (термистор); NodeMCU был оборудован одним датчиком освещенности. Перед подключением для каждого устройства при помощи утилиты Zabbix CLI был создан профиль на сервере Zabbix, после чего были загружены тестовые скетчи для каждого из устройств. На рис. 3 и 4 представлены результаты измерений с устройств Intel Edison и NodeMCU соответственно.

В результате проведенной работы была решена проблема автоматизации подключения устройств, совместимых с Arduino IDE, к системе Zabbix. Утилита Zabbix CLI позволяет автоматизировать процесс добавления новых устройств в Zabbix. Реализованный протокол Zabbix Sender Protocol на языке Си позволяет отправлять измерения с Arduino IDE-совместимых устройств в Zabbix. Представленные функции могут быть использованы для любого устройства, совместимого с Arduino IDE.

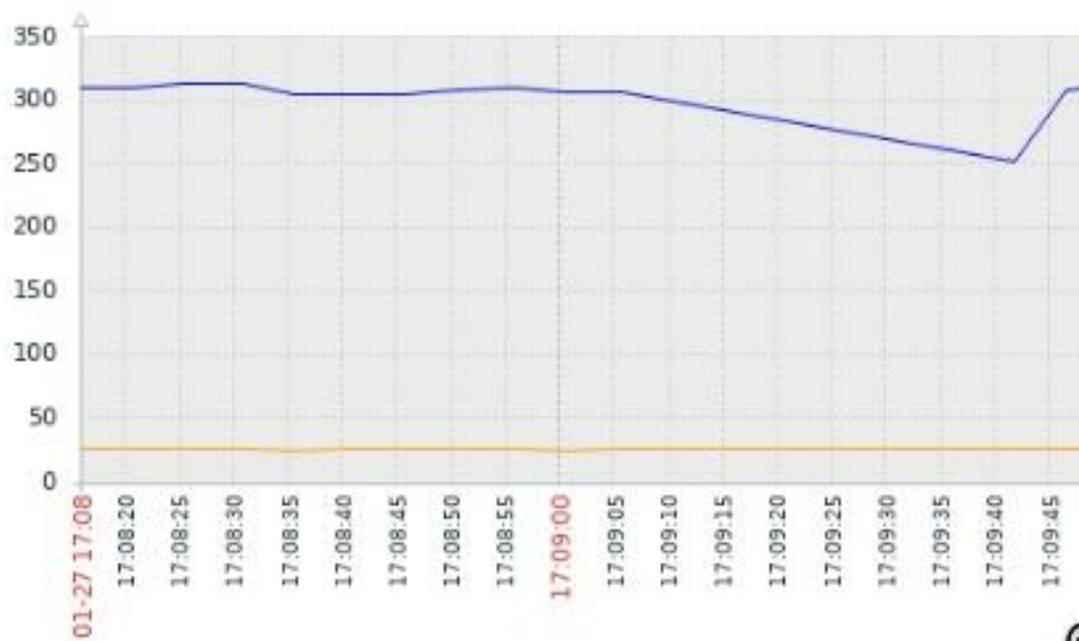


Рис. 3. Показания датчиков освещенности и температуры Intel Edison

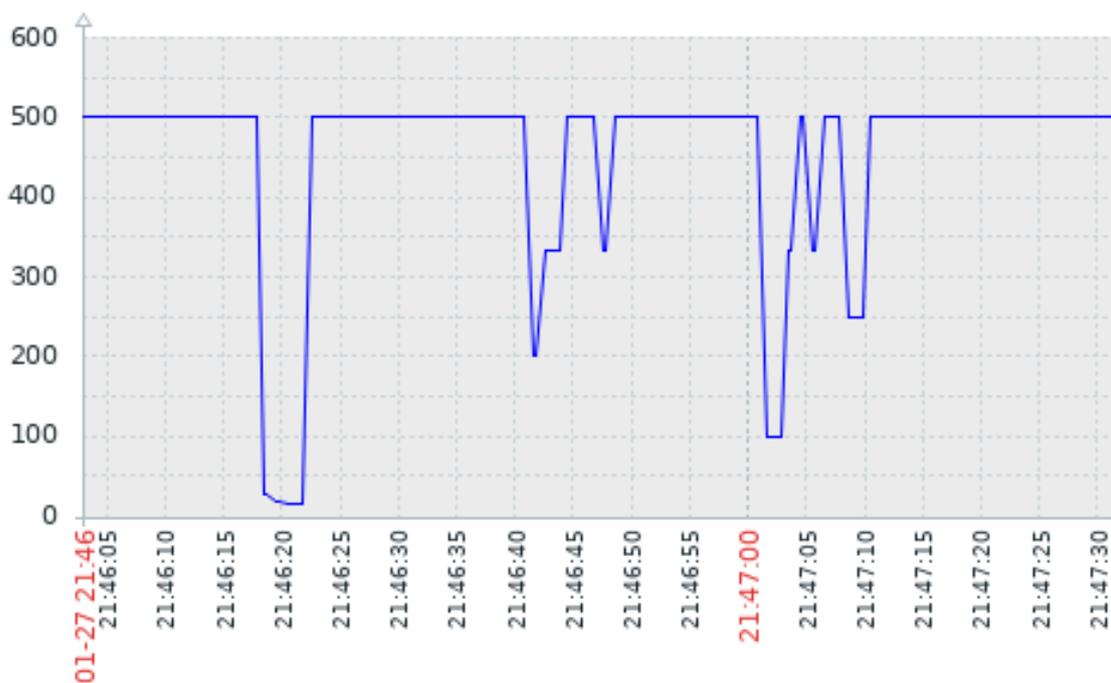


Рис. 4. Показания датчика освещенности NodeMCU

Стоит заметить, что существуют и другие реализации протокола Zabbix Sender Protocol на других популярных языках программирования, например на Python [6, 7], которые также могут быть использованы на встраиваемых системах под управлением Linux. Также стоит обратить внимание на еще одну утилиту для работы с сервером Zabbix - Zabbix Tools [8]. К сожалению, утилита еще не закончена, но, по словам автора, уже довольно полезна.

## Реализация протокола Zabbix Sender Protocol на языке Си

```

template <typename T>
struct arr_t {
    T* array;
    int length;
};

arr_t<byte> zabbixSenderString(String s) {
    String json;
    String data(s);

    json = String("{\"request\":\"sender data\",\"data\":[" + data +
String("]");

    int len = json.length();

    byte lengthBytes[8]; memset(lengthBytes, 0, 8*sizeof(byte));
    int curlen = len;
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        lengthBytes[i] = (curlen % 256);
        curlen = (curlen - (curlen % 256)) / 256;
        if (!curlen)
            break;
    }

    byte* bytearr = new byte[len+5+8]; memset(bytearr, 0,
(len+5+8)*sizeof(byte));
    byte byteheader[5]; String("ZBXD\x01").getBytes(byteheader, 6);
    memcpy(bytearr, byteheader, 5*sizeof(byte));
    memcpy(bytearr+5, lengthBytes, 8*sizeof(byte));
    json.getBytes(bytearr+5+8, len+1);

    arr_t<byte> res; res.array = bytearr; res.length = len+5+8;
    return res;
}

String writeAsJson(char host[], char key[], char value[]) {
    char buf[200];
    sprintf(buf, "{\"host\":\"%s\",\"key\":\"%s\",\"value\":\"%s\"}", host,
key, value);
    return String(buf);
}

```

## Реализация протокола Zabbix Sender Protocol на языке Си с одновременной передачей нескольких измерений

```

template <typename T>
struct arr_t {
    T* array;
    int length;
};

arr_t<byte> zabbixSenderString(arr_t<String> s_arr) {
    String json;
    String data("");
    for (int i = 0; i < s_arr.length - 1; i++) {
        data += s_arr.array[i] + ",";
    }
    data += s_arr.array[s_arr.length - 1];

    json = String("{\"request\":\"sender data\", \"data\":[" + data +
String("], \"clock\":") + String(time(NULL)) + String("}");

    int len = json.length();

    byte lengthBytes[8]; memset(lengthBytes, 0, 8*sizeof(byte));
    int curlen = len;
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        lengthBytes[i] = (curlen % 256);
        curlen = (curlen - (curlen % 256)) / 256;
        if (!curlen)
            break;
    }

    byte* bytearr = new byte[len+5+8]; memset(bytearr, 0,
(len+5+8)*sizeof(byte));
    byte byteheader[5]; String("ZBXD\x01").getBytes(byteheader, 6);
    memcpy(bytearr, byteheader, 5*sizeof(byte));
    memcpy(bytearr+5, lengthBytes, 8*sizeof(byte));
    json.getBytes(bytearr+5+8, len+1);

    arr_t<byte> res; res.array = bytearr; res.length = len+5+8;
    return res;
}

String writeAsJson(char host[], char key[], char value[]) {
    char buf[200];
    sprintf(buf,
"{\"host\":\"%s\", \"key\":\"%s\", \"value\":\"%s\", \"clock\":%d}", host,
key, value, time(NULL));
    return String(buf);
}

```

### Библиографический список

1. Описание протокола Zabbix Sender Protocol. URL: [https://zabbix.org/wiki/docs/protocols/zabbix\\_sender/4.0](https://zabbix.org/wiki/docs/protocols/zabbix_sender/4.0) (дата обращения: 27.01.2019).
2. Описание способа синхронизации по времени без использования внешнего RTC-модуля URL: <https://www.instructables.com/id/TESTED-Timekeeping-on-ESP8266-Arduino-Uno-WITHOUT> (дата обращения: 27.01.2019).

3. Спецификация Intel Edison URL: <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/do-it-yourself/edison.html> (дата обращения: 27.01.2019).
4. Спецификация NodeMCU. URL: [https://www.handsontec.com/pdf\\_learn/esp8266-v10.pdf](https://www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-v10.pdf) (дата обращения: 27.01.2019).
5. Реализация Zabbix Sender Protocol python-zabbix URL: <https://github.com/jbfavre/python-zabbix> (дата обращения: 27.01.2019).
6. Реализация Zabbix Sender protocol py-zabbix. url: <https://github.com/adubkov/py-zabbix> (дата обращения: 27.01.2019).
7. Утилита Zabbix Tools URL: [https://github.com/briangallew/zabbix\\_tool](https://github.com/briangallew/zabbix_tool) (дата обращения: 27.01.2019).

УДК 004.728.3.057.4

**М. С. Ильдеряков, Н. В. Степанов**

студенты кафедры инфокоммуникационных систем

**А. М. Тюриков** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ LPWAN-СЕТИ

### Введение

Последние годы растет интерес к технологии LoRaWAN [1]. Данная технология имеет спектр преимуществ перед другими аналогичными технологиями, в частности это низкое энергопотребление, высокая помехоустойчивость, возможность использования разных Spreading Factors (SF)[2] с целью разделения каналов. Так как технология ещё очень молода, то она является не до конца исследованной, в частности отсутствует такая немаловажная информация, как поведение большого количества конечных устройств при их взаимодействии и то насколько они будут мешать друг другу. Именно исследованию взаимодействия большого количества конечных устройств и посвящена данная работа.

Ключевым параметром для оценки эффективности работы системы является вероятность успешной доставки пакетов от устройств к базовой станции (БС). Для оценки данной вероятности могут быть использованы расчёты, основанные на упрощённых моделях или реальные эксперименты. Однако реальные эксперименты невозможно провести на большом числе устройств. В работе описывается методика, позволяющая с помощью реального эксперимента оценить работу реальной системы в соотношении 4:1000, т.е. заменив четырьмя устройствами в эксперименте 1000 устройств реальной системы. При этом будет рассматривается типовой сценарий с использованием устройств класса А, передающие раз в 10 мин, сообщение содержащее 10 байт информации.

### Обоснование использования подхода к организации эксперимента

Если все устройства имеют одинаковый SF и он выбран таким образом, что в отсутствие наложений, сообщения успешно доставляются на БС. Далее приведены теоретические формулы для верхней (формула 2) и нижней границ вероятности успешной доставки (формула 1).

$$Pr\{T = 2t_{\text{сообщ.}}\} = e^{-\lambda N^2 t}, \quad (1)$$

где  $T$  – длина интервала, в котором не появились сообщения от других устройств.

В ситуации, когда сообщения не будут распознаны только при полном наложении сообщений, вероятность успешной доставки определяется теоретической формулой (2).

$$Pr\{T = t_{\text{сообщ.}}\} = e^{-\lambda N t}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) видно, что на вероятность успешной доставки оказывает влияние произведение  $tN\lambda$ . В реальных системах может быть использован интервал передачи сообщений от одного устройства  $T_p = 10$  мин. Отсюда интенсивность передачи сообщения  $\lambda_p = 1/600$ . В рамках исследуемой системы реальных устройств должно быть  $N_p = 10000$ , отсюда произведение  $tN\lambda$  получается равной:

$$t_p \cdot N_p \cdot \lambda_p = 687,$$

где  $t_p$  – длительность короткого пакета 41.22 мс. (10 байт)[3]

Данные параметры реальной системы удовлетворяют характеристикам БС [5] и конечных устройств.

В эксперименте следует уменьшить время повторных передач сообщений и увеличить длину сообщения. С учётом ограничений конфигурирующей прошивки и характеристик ED интервал между передачей сообщений от одного устройства  $T_s = 7$  с [6]. Отсюда получаем интенсивность передачи сообщений  $\lambda_s = 1/7$ , число ED  $N_s = 41$ . Значения произведений  $tN\lambda$  для экспериментальной системе и реальной системе должны быть примерно равными:

$$T_s \cdot N_s \cdot \lambda_s \approx t_p \cdot N_p \cdot \lambda_p,$$

где  $t_s$  – длительность длинного пакета 118.02 мс. (64 байт)[3].

Таким образом, имитируя большое число перекрытий сообщений в реальной системе, получаем соотношение одного устройства в экспериментальной системе к числу устройств в реальной системе порядка примерно 4:1000.

### **Описание программно-аппаратного комплекса**

В ходе работы был разработан программно-аппаратный комплекс, в состав которого входят: компьютер с программой управляющей экспериментом, БС, компьютер с сервером LoRaWAN, передающие устройства. С целью оценки эффективности работы системы, посредством расчета вероятности успешной доставки данных программно-аппаратный комплекс призван упростить трудоемкую работу по снятию и обработке данных. Данный комплекс управляет ходом эксперимента, собирает необходимую информацию с LoRaWAN [1] сервера и вычисляет вероятность доставки. Также предусмотрен особый порядок отключения устройств по завершению эксперимента.

На вход подается таблица с описанием хода эксперимента. Таблица содержит перечень устройств, задействованных в текущем эксперименте. Программа осуществляет перебор устройств, предлагая оператору на каждой итерации включить новое устройство. Если по ошибке оператора устройство не будет включено, то это будет отражено в выходном файле. Когда все устройства включены, оператор подает команду «начать эксперимент». Время эксперимента задается в качестве входного параметра и может быть изменено на усмотрение экспериментатора, в течение данного времени устройства передают пакеты на БС.

На втором компьютере в ходе всего эксперимента должен быть запущен сервер. Сервер имеет доступ к лог-файлам БС, где пишется информация о каждом устройстве.

По истечении времени, отведенного на эксперимент, начинается сбор и обработка данных. С помощью API сервера программа через протокол websocket связывается с сервером и отправляет json-запрос по каждому устройству [4]. В каждом запросе осуществляется выборка по времени эксперимента. В ответе сервера на подобный запрос имеется такой параметр, как счетчик пакетов. Поскольку пакеты нумеруются в порядке их отправления, то не составляет труда вычислить, сколько пакетов не было доставлено на БС.

После разбора ответа сервера, информация пишется в выходной файл программы. Формат файла имеет следующий вид: в каждой строке есть три значения, первое значение – это id устройства, второе – число доставленных пакетов, третье – число пропущенных пакетов. Подобный формат обусловлен удобством для последующей обработки.

По завершении эксперимента оператору будет предложено выключить устройства в определенном порядке. Алгоритм отключения устройств будет рассмотрен ниже.

Данный программный комплекс можно разделить на две части: управление проводимого эксперимента и обработка информации, полученной в ходе проведения эксперимента.

### **Управление экспериментом**

Управление экспериментом проводится в три этапа: первый этап включение устройств, второй этап ожидание окончания эксперимента и третий этап выключение устройств. Данные этапы будут подробно описаны в следующих трёх подразделах.

#### **Алгоритм включения устройств**

Для запуска программы на вход следует подать две таблицы в xls формате. Первая таблица должна содержать в себе перечень устройств используемых в данном эксперименте, вторая таблица ставит в соответствие EUI устройства и его ID. Так как ID гораздо легче для восприятия последняя таблица призвана облегчить работу оператора. EUI в свою очередь – это идентификатор, используемый при отправке запросов на сервер.

После запуска программа начнет перебирать устройства в порядке их следования. Программа сопоставляет id устройства из первой таблицы с его EUI из второй, и сохраняет данные значения в матрицу 2 на N, где N – это количество устройств используемых в эксперименте. В дальнейшем данная матрица позволяет осуществлять переход от ID устройства к его EUI.

Устройства включаются поочередно в том порядке, в котором они расположены в таблице. Если устройство не было включено или по каким-либо причинам не отвечает, то информация об этом

пишется в выходной файл. Эти данные будут необходимы позже для расставления приоритетов выключения устройств.

### **Ожидание окончания эксперимента**

Когда матрица сформирована, фиксируется время начала эксперимента, и высчитывается время его окончания. Затем программа ожидает окончания эксперимента. По завершении отведенного времени осуществляется проход по строкам матрицы. На каждой итерации формируется запрос по конкретному устройству. Каждый запрос имеет следующие ключевые параметры: EUI устройства, время начала и конца эксперимента. Данные параметры позволяют осуществить точную выборку по времени для каждого устройства. Ответ с сервера направляется в часть программы, отвечающую за парсинг. После разбора ответа от сервера, обработанные результаты пишутся в выходной файл.

Существует также второй выходной файл, в который пишутся временные метки по каждому пакету, для каждого устройства. Данный файл является вспомогательным и позволяет наглядно отследить процесс передачи пакетов в ходе эксперимента.

### **Выключение устройств**

Для формирования очередности выключения устройств они разбиваются на три множества: множество с высоким, низким и средним приоритетом отключения. Далее алгоритм выключения устройств будет расписан по шагам.

**Шаг 1. Отключение устройств с высоким приоритетом.** Поскольку к этому моменту часть выходного файла уже сформирована, по ней составляется перечень устройств с высоким приоритетом отключения. В этот перечень входят те устройства, отвечавшие в ходе эксперимента. Программа «просит» оператора отключить устройства из этого списка.

Если после отключения, какого либо из устройств, ранее молчавшее, начинает отвечать, то такое устройство заносится во второй список с более низким приоритетом отключения.

**Шаг 2. Отключение устройств со средним приоритетом.** Когда все устройства из первого списка будут отключены, начинается отключение устройств из второго списка.

**Шаг 3. Отключение устройств с низким приоритетом.** Последними выключаются те устройства, которые не попали ни в один из двух вышеописанных списков.

### **Обработка информации**

После того как все нужные данные сохранены в памяти, производится обработка информации. Данный алгоритм выглядит следующим образом: программа перебирает все значения счетчика пакетов, если же на какой-то итерации обнаруживается, что текущее значение счетчика отличается от предыдущего более чем на единицу, то значение пропущенных пакетов увеличивается на разницу между значением счетчика на текущей итерации и его же значением на предыдущей. Таким образом, на выходе алгоритма можно получить количество пропущенных пакетов. Количество же успешно доставленных пакетов рассчитывается, оценивается следующим образом. Ответ сервера для каждого устройства содержит информацию по всем доставленным пакетам и не имеет в прямом виде информации о пропущенных пакетах (за исключением их нумерации), то для оценки данного значения достаточно посчитать о скольких пакетах имеется информация в ответе сервера, это и будет количеством доставленных пакетов. После того как количества полученных и пропущенных пакетов завершена, информация пишется в выходной файл.

В исходном виде результирующий файл выглядит следующим образом: сначала идет информация, непосредственно относящаяся к текущему эксперименту, а именно перечень всех устройств с количеством доставленных и пропущенных пакетов, далее идет информация о том, ответили ли какие-либо устройства после отключения других.

### **Особенности построения программного комплекса**

Программный комплекс построен на клиент-серверной архитектуре. Данный программный комплекс является клиентом по отношению к сетевому серверу LoRaWAN. сервера получает запросы в json формате. После установки соединения с сервером происходит процесс авторизации, если данный процесс завершился успехом, то программа формирует и отправляет запрос на сервер. Полученный

ответ отправляется на обработку. Ответ от сервера, получает строку в json формате. В данной строке имеются некоторые избыточные значения, которые не имеют значения для работы данной программы, а потому отсекаются. После обработки происходит подсчет пакетов и запись этой информации в файл.

### **Заключение**

Программный комплекс позволяет значительно облегчить работу экспериментатора и осуществить оценку эффективности LPWAN-сети. Выходные данные программы имеют удобный формат для последующей обработки данных.

Эффективность работы программы следует из попадания результатов экспериментальных расчетов между теоретически рассчитанными границами вероятности успешной доставки.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках инициативного научного проекта № 8.8540.2017 / 8.9 «Разработка алгоритмов передачи данных в системах IoT с учетом ограничений на сложность устройств». Авторы благодарят организацию «AURORA Mobile Technologies» (ООО "Лаборатория Интернета Вещей») за предоставленное оборудование и лично директора по развитию бизнеса Гусева Олега Валерьевича за содействие в проведении экспериментов.

### **Библиографический список**

1. Prashant R. LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things. Coinmonks. Retrieved 2019-02-09.
2. What is LoRa and How Does It Work? URL: [enterpriseiotinsights.com](http://enterpriseiotinsights.com). (дата обращения: 09.02.2019).
3. LoRa калькулятор. URL: <https://www.loratools.nl/#/airtime> Available at: <https://www.sigfox.com/en> (дата обращения: 20.05.2018).
4. Limitations. The Things Network. Retrieved 2019-02-18.
5. Оборудование LoRa. URL: [http://www.auroramobile.ru/product\\_855.html](http://www.auroramobile.ru/product_855.html) (дата обращения: 30.03.2019).
6. Оборудование LoRa. URL: <http://iotvega.com/product/si11> (дата обращения: 30.03.2019).
7. Tiurlikova A., Stepanov N., Mikhaylov K. Method of Assigning Spreading Factor to Improve the Scalability of the LoRaWan Wide Area Network // 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). IEEE, 2018. P. 1–4.

УДК 621.391.1

**А. А. Катков**

студент кафедры инфокоммуникационных систем

**А. М. Тюриков** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ОТЛАДОЧНЫМИ ПЛАТАМИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

### Постановка задачи

В данной статье будет изучена работа отладочных плат для беспроводной передачи данных в диапазоне частот общего назначения. С их помощью был организован эксперимент по оценке вероятности ошибки при использовании разных видов модуляции. Так же будет рассмотрен диапазон частот общего назначения, в иностранной литературе именуемый как ISM (*industrial, scientific and medical*). В России этот диапазон представлен частотами 443 и 868 МГц, но я буду рассматривать только 868 МГц. В Российской Федерации этот диапазон частот считается свободным и использование приборов, работающих на данных частотах не требует лицензирования, но к устройствам прилагаются ограничения по мощности передатчика и его частотному диапазону, эти требования описаны в решении ГКРЧ (*государственная комиссия по радиочастотам*) от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» [1] Приложения 3 и 11.

### Описание модуля передачи сообщения

На основе документа [2] может быть описан следующий абзац. В данных, полученных по радиоканалам, часто возникают ошибки из-за помех и изменяющихся во времени уровней сигнала. Чтобы повысить устойчивость к ошибкам, применяют прямую коррекцию ошибок в английской литературе имеющее аббревиатуру FEC (*Forward Error Correction*). После устранения перемежения непрерывный диапазон ошибок в принятом потоке станет единичными ошибками, распределенными по частям. Использование матричное перемежение, которое проиллюстрировано на рис. 1. Буферы перемежения и обратного перемежения на платах представляют собой матрицы  $4 \times 4$ . В передатчике биты данных из сверточного кодера со скоростью  $1/2$  записываются в строки матрицы, тогда как передаваемая битовая последовательность считывается из столбцов матрицы. В приемнике принятые символы записываются в строки матрицы, тогда как данные, передаваемые в сверточный декодер, считываются из столбцов матрицы. Аппаратное обеспечение управления пакетами автоматически вставляет один или два дополнительных байта в конец пакета, так что общая длина данных, подлежащих перемежению, является четным числом. Обратите внимание, что эти дополнительные байты невидимы для пользователя, так как они удаляются до того, как полученный пакет поступит в регистр данных. При использовании прямой коррекции ошибок и чередования минимальная полезная нагрузка данных составляет 2 байта.

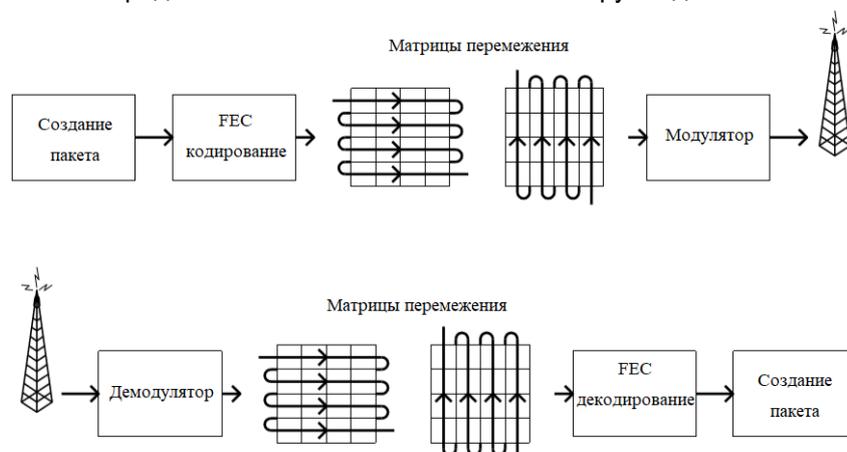


Рис. 1. Схема описания передачи сообщения

## Структура сообщения

Формат пакета данных может быть настроен и состоит из следующих элементов.



Рис. 2. Формат пакета CC110F<sub>x</sub> / CC1111F<sub>x</sub> SWRS033H

Шаблон преамбулы представляет собой чередующуюся последовательность единиц и нулей (101010101...). При включении передачи модулятор начнет передачу преамбулы. Когда запрограммированное количество байтов преамбулы будет передано, модулятор отправит слово синхронизации, а затем данные из регистра RFD. Если данные не были записаны в регистр RFD, когда радиостанция закончила передачу запрограммированного количества байтов преамбулы, модулятор продолжит отправлять байты преамбулы, пока первый байт не будет записан в RFD. Затем он отправит слово синхронизации с данными, записанными в RFD. Слово синхронизации – это двухбайтовое значение. Слово синхронизации обеспечивает байтовую синхронизацию входящего пакета.

### Описание поддерживаемых видов модуляций

Данный вид отладочных плат поддерживает следующие виды модуляций 2 – FSK, GFSK или MSK, а также ASK или OOK. При использовании 2 – FSK, GFSK или MSK демодулятор будет компенсировать смещение между частотой передатчика и приемника в определенных пределах, оценивая центр принимаемых данных. Синтезатор частоты может автоматически настраиваться в соответствии с оцененным смещением частоты. Если бит FOCCFG.FOC\_BS\_CS\_GATE установлен, компенсатор смещения будет происходить до тех пор, пока не будет подтверждено значение несущей. Это может быть полезно, когда радиостанция находится в режиме RX в течение длительных периодов без трафика, поскольку может смещаться к границам при попытке отследить шум. Цикл отслеживания имеет два коэффициента усиления, которые влияют на время установления и чувствительность алгоритма к шуму. Так же следует обратить внимание, что компенсация смещения частоты не поддерживается для модуляции ASK или OOK. Более подробное описание модуляций можно найти в документе [3].

### Описание проводимого эксперимента

В данном эксперименте принимали участие платы CC110F<sub>x</sub> / CC1111F<sub>x</sub> и использовалась частота передачи 869МГц. Для начала нам требовалось установить ПО к данным платам. Через программу SmartRF Studio 7 можно выбрать модуляцию и скорость передачи данных. В своем эксперименте я использовал модуляцию с наименьшей скоростью BFSK и с максимальной скоростью передачи MSK. Ниже приведена схема передачи сообщения. Сначала сообщение *m* загружается с компьютера на передатчик, затем передается по радиоканалу, в котором могут происходить ошибки, далее идет процесс приема сообщения на приемнике и обнаружение ошибок. После всего этого сообщение успешно передается на компьютер по абсолютно надежному каналу. Так же на компьютере происходит сравнение сообщений и подсчет вероятности ошибок на бит и пакет для каждого уровня принимаемого сигнала RSSI (*англ. received signal strength indicator*)

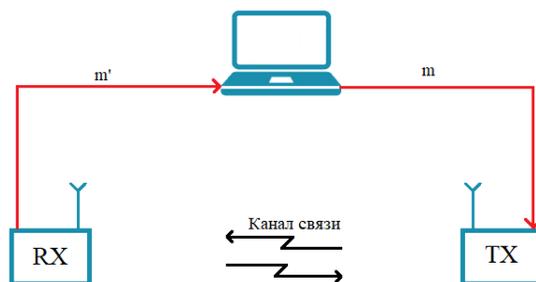


Рис. 3. Структурная схема передачи сообщения

### Полученные результаты

В ходе эксперимента можно измерить только уровень принимаемого сигнала, поэтому было принято решение провести соответствие двух величин уровня принимаемого сигнала и отношения сигнал шум SNR (англ. *signal-to-noise ratio*).

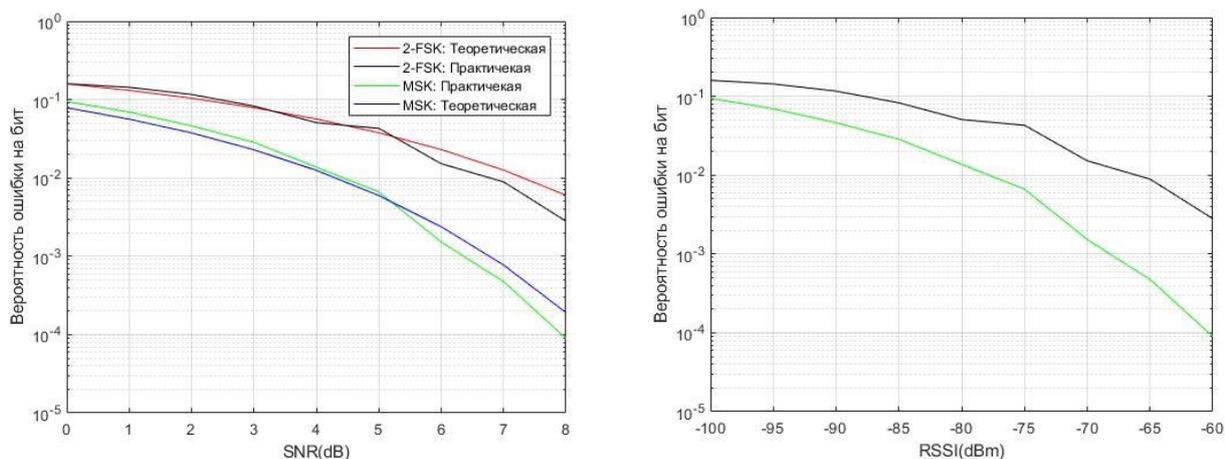


Рис. 4. Экспериментальные и теоретические вероятность ошибки на бит для SNR и RSSI

Таблица

SNR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RSSI	-100	-95	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60

Из данных графиков можно провести соответствие RSSI и SNR они будут представлены в таблице.

### Библиографический список

1. Решение ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия».
2. Техническая документация «Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, Sub-1 GHz RF Transceiver, and USB Controller».
3. Прокис Дж. Цифровая связь. 2000.

УДК 004.728.3.057.4

**С. А. Кузьмичёв, Н. В. Степанов**

студенты кафедры инфокоммуникационных систем

**А. М. Тюриков** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ СЕТИ LORAWAN В СРЕДЕ NS-3 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ОТ КОНЕЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

### **Введение**

На сегодняшний день существует необходимость в использовании сетей с большой площадью покрытия, при достаточно низкой стоимости обслуживания. В связи с этим большой популярностью пользуется сеть LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks). Ее протокол канального уровня внес существенный вклад в развитие в данном направлении исследований. Определенным преимуществом данной сети является возможность принимать пакеты, при незначительном наложении сообщений [1]. С учётом данных особенностей важно оценить вероятность успешной доставки сообщения от числа работающих конечных устройств сети LoRaWAN. Однако данная оценка зависит от множества входных параметров, вследствие этого получить оценку будет проще с помощью моделирования сети в программном комплексе NS-3.

Таким образом, в данной работе мы воспользуемся модулем сети LoRaWAN в NS-3 описанном разделе 0, чтобы оценить вероятность успешной доставки сообщения от числа работающих конечных устройств сети LoRaWAN. Чтобы определить точность этой оценки вероятности доставки сообщения, мы также проведем ряд реальных экспериментов и сравним их с результатами, полученными с помощью моделирования. Описание сценария экспериментов и моделирования приведено в разделе 0. Результаты проведенных экспериментов и моделирования представлены в разделе 0. Сделанные выводы позволят ответить на следующие вопросы: насколько моделирование сети LoRaWAN в существующем модуле программного комплекса NS-3 приближенно к реальности для заданного сценария? Как происходит разрешение конфликта перекрытия сообщений в используемом модуле? Также по результатам работы будет получена зависимость вероятности успешной доставки сообщения от числа работающих конечных устройств, для предложенного сценария эксперимента и моделирования.

### **Используемый модуль сети LoRaWAN**

В данной работе для моделирования системы сбора данных от конечных устройств в сети LoRaWAN используется модуль NS-3, разработанный и предложенный в работе [2]. Этот модуль был реализован, чтобы провести моделирование сети для оценки масштабируемости сетей LoRaWAN. Однако авторы утверждают, что данный модуль является универсальным и может быть использован для различных сценариев экспериментов.

Основываясь на работе [2] можно сказать, что предоставленная авторами модель сети LoRaWAN включает в себя ряд различных элементов, таких как модель ошибки для модуляции LoRa, физический уровень и уровень управления доступом к среде (MAC) для шлюза и конечных устройств. Элементы имитации физического и MAC уровня построены на конечных автоматах. Доставка сообщения рассчитывается, основываясь на отношении уровня полезного сигнала к уровню шума (SINR), длины сообщения и вероятности ошибки на бит, как предусмотрено в модели ошибки. Так же стоит обратить внимания на то, что передачи со значением SINR ниже порогового значения SNR просто отбрасываются. Также в состав модуля входят имитация конечных устройств, имитация шлюзов и имитация простого сетевого сервера LoRaWAN.

### **Сценарий экспериментов**

Сценарий проведения реальных экспериментов и моделирования одинаковый, так как нам необходимо понять, насколько имитационная модель приближена к реальной системе. Итак, для проведения экспериментов и моделирования все устройства были настроены на 7 коэффициент расширения спектра (SF); одинаковую частоту 868,1 МГц; одинаковую мощность 2 дБ; находились в

одинаковых радио-условиях при незначительном удалении от шлюза «RisingHF RHF2S008» [3] (до 5 м). Устройства передают сообщения каждые 7 секунд, ограничение заданной прошивкой устройств Vega СИ-11 [4], в течение 12 минут; без подтверждений отправленных пакетов; с полезным объёмом информации 64 байта. Эксперименты были проведены для следующего числа устройств: 2, 7, 14, 22, 31, 36. В действительности для реальных системы число конечных устройств намного больше, и сообщения передаются с большей периодичностью. Однако при наших параметрах интенсивность сообщений будет схожей с интенсивностью в реальных системах при заданном числе устройств.

В ходе экспериментов и моделирования считается число переданных сообщений и число сообщений, принятых шлюзом. Так как все устройства находятся близко к шлюзу, неудачный прием из-за слабой мощности исключается. Следовательно, сообщения могут быть потеряны лишь вследствие конфликта при перекрытии времени передачи сообщений от различных конечных устройств.

Рассмотрим два граничных случая разрешения конфликта. Первый для верхней границы, когда при перекрытии сообщений передается только тот, который начал передачу раньше. Следовательно, «опасным» участком для сообщения в этом случае является промежуток длиной  $t$  перед началом передачи, где  $t$  – время передачи сообщения. Если другое устройство начнет передачу в этом промежутке, то сообщения от рассматриваемого устройства будет не принято.

Таким образом, расчёт вероятности успешной доставки  $Pr\{Y\}$  для верхней границы вычисляется по следующей формуле:

$$Pr\{Y\} = e^{-\lambda Nt},$$

где  $\lambda$  – интенсивность входного потока и  $N$  – количество устройств.

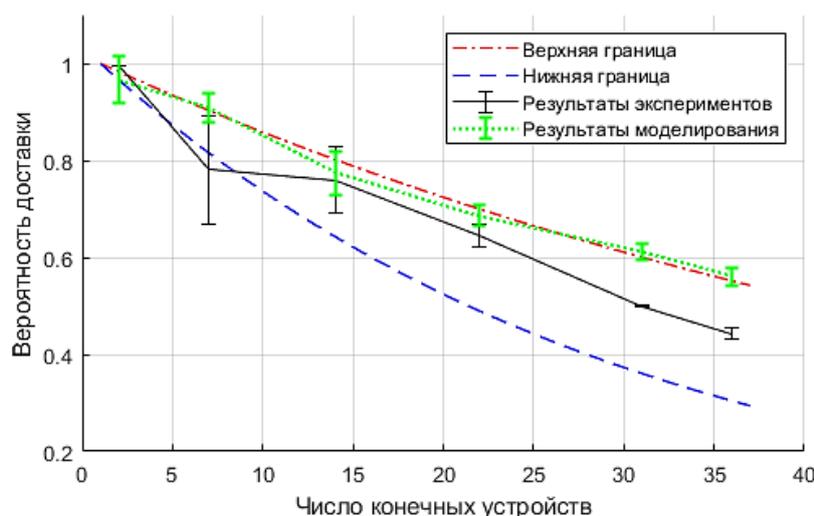
Второй случай для нижней границы, когда при перекрытии оба сообщения считаются не принятыми шлюзом. В таком случае «опасная» зона увеличивается в два раза, так как мешающее сообщение может появиться как до времени начала передачи, так и после в течение времени  $t$ . В таком случаи сообщения не будут распознаны.

Расчёт вероятности успешной доставки для этого случая будет производиться по формуле:

$$Pr\{Y\} = e^{-\lambda N2t}.$$

### Результаты экспериментов и моделирования

В ходе проведенных экспериментов и моделирования с одинаковыми входными параметрами, описанными в разделе 0, получены результаты, представленные на рисунке.



*Теоретические границы, результаты моделирования и эксперимента*

По представленным данным можно отметить, что результаты моделирования идут по верхней границе и сильно завышены относительно реальных экспериментов. Следовательно, при перекрытии сообщений в модуле NS-3 конфликт разрешается передачей того сообщения, которое начало передачу

первым. Отсюда можно сделать вывод, что модуль сети LoRaWAN требует доработки для проведения моделирования приближенного к реальности.

### **Заключение**

В данной работе проведено исследование существующего модуля сети LoRaWAN в среде NS-3. Предложен сценарий моделирования и экспериментов для сбора данных от конечных устройств. С помощью экспериментов и моделирования получена оценка вероятности успешной доставки сообщения от числа конечных устройств. Показано что вероятность доставки сообщения при моделировании получается завышенной, по отношению к вероятности доставки сообщения, полученной с помощью реальных экспериментов. Следовательно, существующий модуль сети LoRaWAN требует доработки для приближения имитационной модели к реальной системе, что будет реализовано в последующей работе.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках инициативного научного проекта № 8.8540.2017 / 8.9 «Разработка алгоритмов передачи данных в системах IoT с учетом ограничений на сложность устройств». Авторы благодарят организацию «AURORA Mobile Technologies» (ООО "Лаборатория Интернета Вещей») за предоставленное оборудование и лично директора по развитию бизнеса Гусева Олега Валерьевича за содействие в проведении экспериментов.

### **Библиографический список**

1. Rahmadhani A., Kuipers F. When LoRaWAN Frames Collide // Proc. of the 12th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization (ACM WiNTECH 2018). 2018.
2. Floris A. et. al. Scalability Analysis of Large-Scale LoRaWAN Networks in NS-3 / A. Floris, H. Jetmir, M. Ingrid, H. Jeroen // IEEE Internet of Things Journal. 2017. Vol. 4. Is. 6.
3. Оборудование LoRa. URL: [http://www.auroramobile.ru/product\\_855.html](http://www.auroramobile.ru/product_855.html) (дата обращения: 19.04.2019).
4. Оборудование LoRa. URL: <http://iotvega.com/product/si11> (дата обращения: 19.04.2019).

УДК 004.896

**А. Э. Фазилов**

студент кафедры инфокоммуникационных систем

**А. И. Веселов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ**

Сегодня одним из наиболее интересных, перспективных и захватывающих направлений в области применения современных методов нейронных сетей, методов глубокого обучения и наиболее интригующих областей искусственного интеллекта являются диалоговые системы [1]. В данный момент, исследования в этой области окрестили названием «разговорного интеллекта» (в простонародье – чат-боты). Уже сейчас можно заметить, что число пользователей, которые ежедневно пользуются мессенджерами, приближается к числу пользователей, использующих социальные сети [2][3]. Очевидно, что использование диалоговых систем имеет довольно много применений, с одной стороны – использование в сфере услуг, когда вы можете заказать что-то и подобрать какой-то продукт или услугу в вашем мессенджере, просто общаясь с каким-то чат-ботом. С другой стороны, это может быть помощь, когда вы решаете какую-то свою проблему, связанную с каким-то сервисом или продуктом, тоже общаясь с чат-ботом как с какой-то службой техподдержки. В будущем чат-боты помогут развить текущие персональные помощники, такие как Siri от Apple (<https://www.apple.com/siri/>), Alexa от Amazon (<https://www.amazon.co.uk/gp/product/b06y5zw72j>), Алиса от Яндекс (<https://alice.yandex.ru>), которые будут повсеместно использоваться в умных домах [4], в телефонах и т.д. Чат-боты смогут выполнять ваши непосредственные задачи, и находить ключи к их решениям. Целью работы, описанной в этой статье, является анализ методов классификации запросов пользователей в момент разговора между человеком и машиной, создающими вместе диалоговую систему. В рамках этого анализа проводится сравнение 2-х алгоритмов этих запросов, отличающимся вариантом обработки слов.

Рассмотрим архитектуру современных чат-ботов на рис 1.

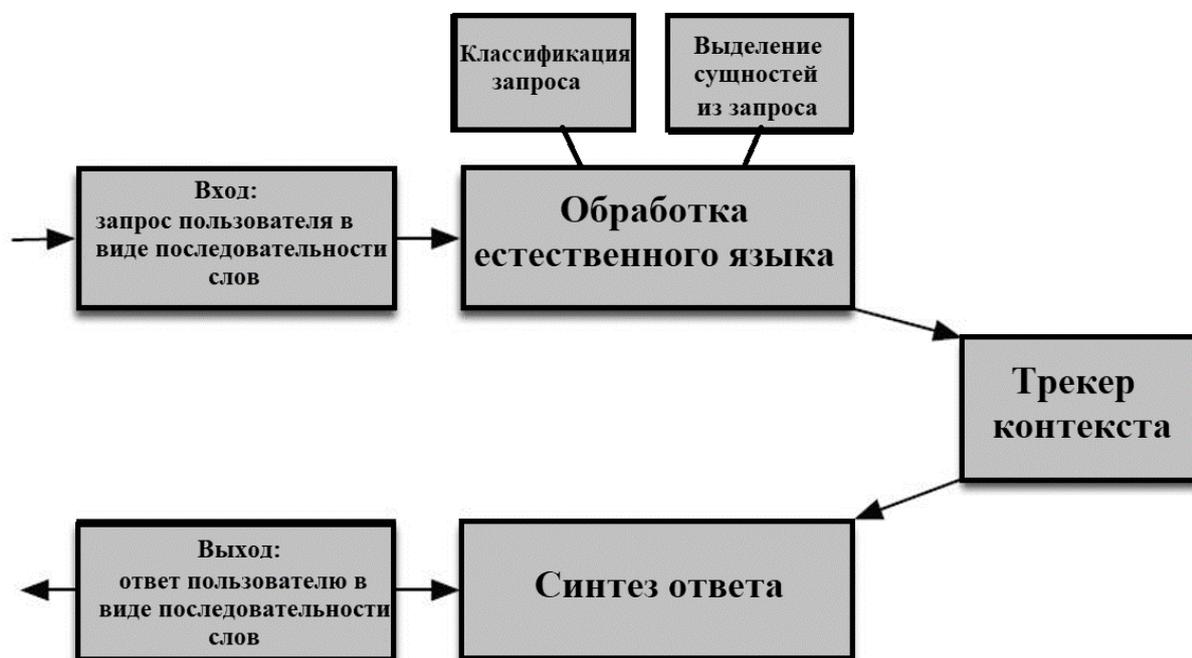


Рис. 1. Архитектура современных чат-ботов

В зависимости от способа ведения диалога с пользователем выделяют следующие типы (классы) чат-ботов:

- Чат-боты общего назначения, способные поддерживать беседу с пользователем в рамках любой тематики.
- Специализированные чат-боты, нацеленные на решение некоторой задачи (например, заказ такси) или множества задач.

В рамках данной работы рассматривается только второй класс чат-ботов. В рамках данного класса архитектура чат-бота, как правило, состоит из последовательности модулей, обрабатывающих и синтезирующих текстовую информацию поступающих на вход от пользователя. Первая часть – это некоторый блок, цель которого – понять, о чем же говорит пользователь. Чтобы что-то ответить пользователю, для начала нужно понять, чего же он хочет и о чем он говорит, например, это может быть заказ пиццы или бронирование гостиницы. Исходя из этого, первый блок занимается обработкой естественного языка (NLU, natural language understanding) – блок понимания реплик на естественном языке. Он состоит из двух модулей. Первый модуль решает задачу классификации запроса пользователя с возможным синтаксическим разбором предложения. Цель этого модуля – определить, что хочет пользователь. Второй модуль – модуль выделения сущностей из запроса, цель которого выполнить разбор запроса и вычленив из него параметры запроса.

Следующий компонент системы – трекер состояния диалога – берет на вход то, что извлекли из текущей фразы. Он имеет уже текущее состояние диалога, то что мы уже раньше узнали от пользователя о том, что он хочет, совмещая таким образом две задачи. Фактически это та часть, в которой хранится история нашего взаимодействия с пользователем. Далее стоит модуль синтеза ответа, цель которого сгенерировать на запрос пользователя ответ и отправить на выходе пользователю созданное сообщение. В рамках данной статьи рассматривается только первый модуль обработки естественного языка – классификация запроса пользователя.

Рассмотрим процесс классификации запроса пользователя. Пример процесса классификации запроса пользователя на примере открытого решения RASA Stack [5], а в частности, ее отдельного компонента RASA NLU, представлена на рис. 2.

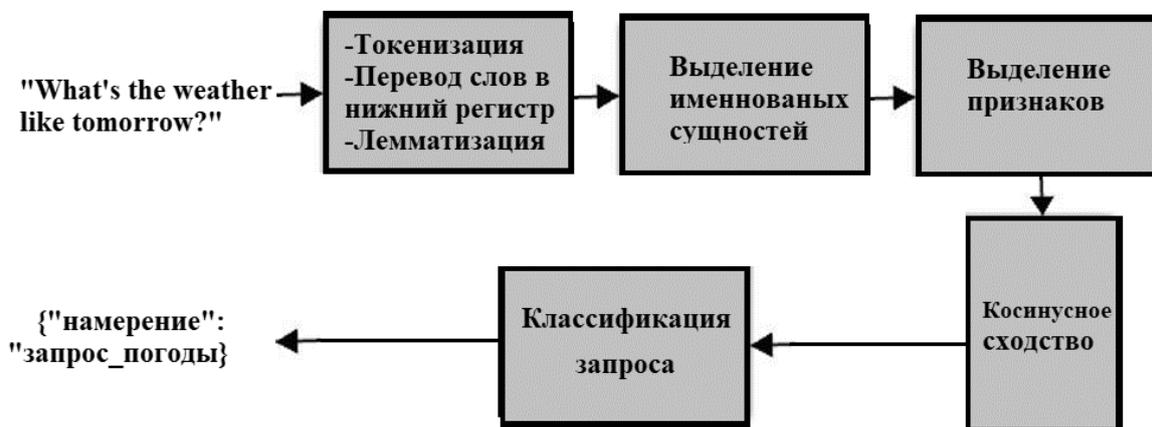


Рис. 2. Процесс классификации запроса пользователя

Для того чтобы классифицировать запрос пользователя, для начала необходимо предобработать его. После того как на вход поступило высказывание пользователя, происходит токенизация – самый первый шаг при обработке сообщения пользователя, который заключается в разбиении (разделении) длинных строк текста на более короткие: абзацы делим на предложения, предложения на слова. В базовой модели RASA используется токенизатор по пробелам, т.е. в результате токенами являются слова. После этого происходит перевод символов токена из верхнего регистра в нижний регистр и лемматизация, т.е. процесс приведения словоформы к лемме – ее нормальной форме.

После этого происходит процесс выделения именованных сущностей (NER, Named Entity Recognition). Пример такого процесса представлен ниже: What's the weather like tomorrow? -> 'what', 'is',

'the', 'weather', 'like', 'tomorrow' -> 'what', 'is', 'the', 'weather'[weather\_term], 'like', 'tomorrow'[date]. Как можно заметить токен 'tomorrow' был определен как сущность, относящаяся к типу date.

После выделения именованных сущностей идет перевод нашего высказывания в векторное представление. Векторным представлением данной модели является модель BoW (Bag-of-words) [6] – это детальная репрезентативная модель, используемая для упрощения обработки содержания выделенного текста, которая на входе принимает запрос и на выходе получает подсчет количества различных слов в тексте в одном векторе. Эта модель не берет во внимание грамматику или порядок слов. Главная задача – определение количества вхождений слов в данный текст. Далее классификатор учится разделять встраиваемые модели для вектора признаков и вектора намерений. Вектора признаков и намерений имеют одинаковые размеры, что позволяет измерить векторное расстояние между этими векторами, используя косинусное сходство [7].

Косинусное сходство (cosine similarity) – мера подобия между двумя массивами данных, вычисляемая как косинус угла между векторами в многомерном пространстве [8].

$$\cos(\Theta) = \frac{A \cdot B}{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}},$$

где A, B – вектора признаков и намерений соответственно.

Во время обучения максимизируется сходство косинусов между пользовательскими сообщениями и соответствующими метками намерений. Эта метрика может быть использована как сравнение между документами в нормализованном пространстве, поскольку мы не учитываем величину количества слов в каждом документе, но учитываем угол между документами.

Обратим внимание, что даже если бы у нас был вектор, указывающий на точку, далекую от другого вектора, эти вектора все равно могли бы иметь небольшой угол, и это является главным преимуществом при использовании косинусного сходства, при этом измерение имеет тенденцию игнорировать более высокое появления определенного слова в документах. Предположим, у нас есть документ со словом «небо», появляющийся 200 раз, и другой документ со словом «небо», появляющийся 50, евклидово расстояние между ними будет выше, но угол все равно будет небольшим, поскольку они указывают в одном направлении, что имеет значение, когда мы сравниваем документы.

В рамках данной работы было проведено сравнение двух подходов, которые далее будем идентифицировать как «базовый» и «измененный». Под «базовым» будем понимать модель классификатора RASA NLU по умолчанию, проблема которого заключается в том, что в процессе классификации запроса используется статистическая модель общего назначения, обученная на большом наборе различных документов разных тематик. Данная модель имеет большой размер и не всегда может классифицировать верно запрос в разных контекстах. В связи с этим был предложен другой подход под названием «измененный», который будет решать эту задачу путем собственного векторного представления на основе только обучающих данных, полученных для решения одной конкретной задачи. Данные пайплайны были сравнены в рамках диалогового решения RASA на выборке bookRestaurant, состоящей из 20 классов и 270 запросов. Результаты сравнения приведены в таблице.

Таблица

**Результаты сравнений**

	Базовый	Изменённый
Статистическая модель (предобработанное векторное представление)	sраСу	–
Точность классификации	0.904	0.869

Как можно заметить, классификатор с изменённым пайплайном чуть хуже классифицирует намерения пользователя. Это выражается в том, что выборка, на которой производились результаты, довольно распространена и не требует каких-либо определенных данных, на которых можно лучше обучиться, чем на предобработанном корпусе. Также одним из недостатков является использование

векторного представления BoW, которое не позволяет учитывать порядок слов, что в свою очередь влияет на качество результата.

В заключение нужно отметить, что актуальность классификатора без использования дополнительной статистической модели выражается в том, что некоторые слова в английском языке могут иметь совсем разные значения в разных областях, поэтому наличие предобработанного корпуса не всегда может заметно улучшать результаты. Полученные результаты будут использоваться для дальнейшего исследования на другой менее распространенной выборке, связанной с выбором модели мобильного устройства, а также с целью возможности использовать другие векторные представления слов, такие как TF-IDF [6] и fastText для получения более высоких результатов или близких по сравнению с базовой моделью, но без использования предобработанного корпуса слов.

### Библиографический список

1. Диалоговые системы. URL: <https://postnauka.ru/video/82039> (дата обращения: 25.04.2019).
2. Connecting One Billion Users Every Day.  
URL: <https://blog.whatsapp.com/10000631/connecting-one-billion-users-every-day> (дата обращения: 25.04.2019).
3. Facebook: Our Stats. URL: <https://newsroom.fb.com/company-info/> (дата обращения: 25.04.2019).
4. Park Y., Kang S., Seo J. An Efficient Framework for Development of Task-Oriented Dialog System in a Smart Home Environment. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc5982658/> (дата обращения: 25.04.2019).
5. Technology Fridays: An Overview of RASA, The Best NLP Platform You Never Heard Of. URL: <https://medium.com/@jrodthoughts/technology-fridays-an-overview-of-rasa-the-bestnlp-platform-you-never-heard-of-633b25f43845> (дата обращения: 25.04.2019).
6. Brownlee J. A Gentle Introduction to the Bag-of-Words Model. URL: <https://machinelearningmastery.com/gentle-introduction-bag-words-model/> (дата обращения: 25.04.2019).
7. Rasa NLU in Depth: Part 1 – Intent Classification. URL: <https://blog.rasa.com/rasa-nlu-in-depth-part-1-intent-classification/> (дата обращения: 25.04.2019).
8. Machine Learning: Cosine Similarity for Vector Space Models (Part III) Christian S. Perone. URL: <http://blog.christianperone.com/2013/09/machine-learning-cosine-similarity-for-vector-space-models-part-iii/> (дата обращения: 25.04.2019).

## УДК 004.9 (075)

**Е. А. Яловко**

студент кафедры инфокоммуникационных систем

**Н. В. Марковская** – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ**

В ГОСТ 27.002-2015 надежность определена как свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1]. Потеря надежности объекта приводит к огромным затратам на его ремонт, простоя машин, невыполнению ответственных задач, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями, разрушением крупных объектов и с человеческими жертвами. Актуальность задач по расчёту надёжности объясняется тем, что они дают ответ на вопрос о целесообразности дальнейших затрат, необходимых на отработку технологии и производство тех или иных систем, о безопасности их использования. Наличие программного комплекса позволит существенно сократить время решения задач по оценке надёжности систем.

В данной статье будут рассматриваться невосстанавливаемые системы, для которых разрабатывается учебный программный комплекс, позволяющий проводить автоматизированный расчет надежности таких систем.

Существует множество программных комплексов для расчета надежности, самые популярные из отечественных на данный момент – это ПК «АРБИТР», где есть возможность рассмотреть до 400 узлов системы, ПК «АСОНИКА-К» и ПК «A.L.D. Group». Данные ПК производят точный расчет показателей, но к сожалению, имеют большие системные требования, высокую стоимость и сложность в использовании. Разрабатываемый ПК состоит из модулей, позволяющих оценить (спрогнозировать) показатели надежности систем на уровне блоков, модулей, основываясь на данных о надежности элементов, режимах и условиях их работы.

Рассчитать систему на надежность – это значит определить одну или несколько характеристик свойств надежности [2],[3]. Рассмотрим основные показатели надежности невосстанавливаемых систем, а именно:

- Функция надежности или вероятность безотказной работы:

$$R(t) = \Pr\{T > t\}, \quad (1)$$

где  $T$  – время жизни элемента и  $t$  – время наработки, при котором не должно произойти отказа;

- Функция распределения или вероятность отказа:

$$F(t) = \Pr\{T \leq t\}; \quad (2)$$

- Интенсивность отказов:

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)}, \quad (3)$$

где  $R(t)$  – формула расчета надежности и  $R'(t)$  – производная от этой функции;

- Среднее время жизни системы:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (4)$$

Также приведем свойства функции надежности [3]:

- 1)  $R(0) = 1$ ;
- 2)  $R'(t) < 0$ ;
- 3)  $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$ .

В теории надежности наибольшее распространение получили следующие законы распределения случайных величин  $f(t)$  [2],[4]:

- для дискретных случайных величин – биномиальный закон, закон Пуассона;

- для непрерывных случайных величин – экспоненциальный закон, нормальный закон, гамма-распределение, закон Вейбулла и др.

Определение закона распределения отказов имеет большое значение при исследованиях и оценках надежности. Определение  $R(t)$  по одной и той же исходной информации о  $T$ , но при различных предположениях о законе распределения может привести к существенно отличающимся результатам. Закон распределения отказов можно определить по экспериментальным данным или при составлении моделей возникновения отказов.

Для расчета надежности составляются структурные схемы систем с точки зрения надежности, которые графически отображают взаимосвязь элементов и их влияние на работоспособность системы в целом.

Различают:

1. Системы с последовательным соединением элементов. Такое соединение элементов в технике встречается наиболее часто, поэтому его называют основным соединением. В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течение некоторой наработки  $t$  необходимо и достаточно, чтобы каждый из ее  $n$  элементов работал безотказно в течение этой наработки. Общая формула имеет вид:

$$R(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \quad (5)$$

2. Системы с параллельным соединением элементов. Для безотказной работы этих систем в течение некоторой наработки  $t$  необходимо и достаточно, чтобы хотя бы один из ее  $n$  элементов работал безотказно в течение этой наработки. Формула для расчета:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (6)$$

3. Системы типа “ $m$  из  $n$ ” (мажоритарные системы) можно рассматривать как вариант системы с параллельным соединением элементов, отказ которой произойдет, если из  $n$  элементов, соединенных параллельно, работоспособными окажутся менее  $m$  элементов ( $m < n$ ). Формула расчета надежности для трех элементов имеет вид:

$$R(t) = R_j^3(t) + 3 \times R_j^2 \times (1 - R_j) \quad (7)$$

4. Большинство реальных систем имеют сложную комбинированную структуру, часть элементов которой образует последовательное соединение, другая часть – параллельное, поэтому более целесообразно в этих случаях предварительно произвести декомпозицию системы, разбив ее на простые подсистемы – группы элементов, методика расчета надежности которых известна. Тогда формула:

$$R(t) = \prod_{j=1}^n R_j(t) \quad (8)$$

где  $R_j(t)$  – значение надежности  $j$ -ой подсистемы.

При запуске разработанного программного комплекса пользователю предлагается ввести количество элементов в тестируемой системе, как показано на рис. 1. Далее, в зависимости от того, сколько было введено элементов, выводится окно для пользователя (рис. 2), где вводятся интенсивность отказа для каждого элемента. После предлагается выбрать вариант соединения элементов (рис. 3).

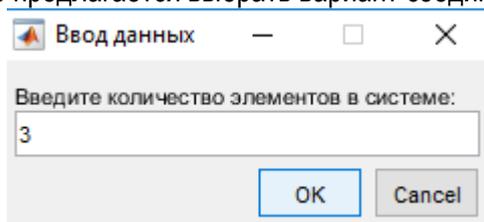


Рис. 1. Пример ввода данных пользователем

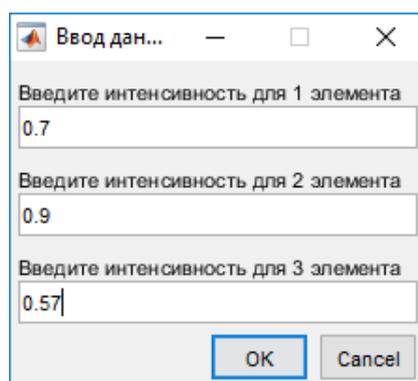


Рис. 2. Пример ввода пользователем интенсивности отказов для каждого элемента

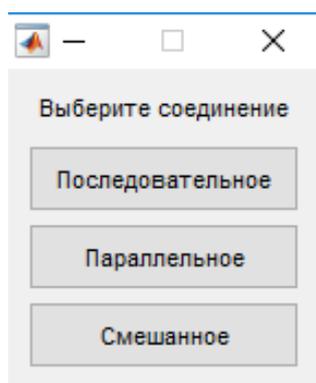


Рис. 3. Пример выбора пользователем соединения элементов

После всех введенных данных пользователю представляется графический расчет надежности системы, для более полного понимания, да одном графике представлены несколько расчетов надежности с разными входными данными.

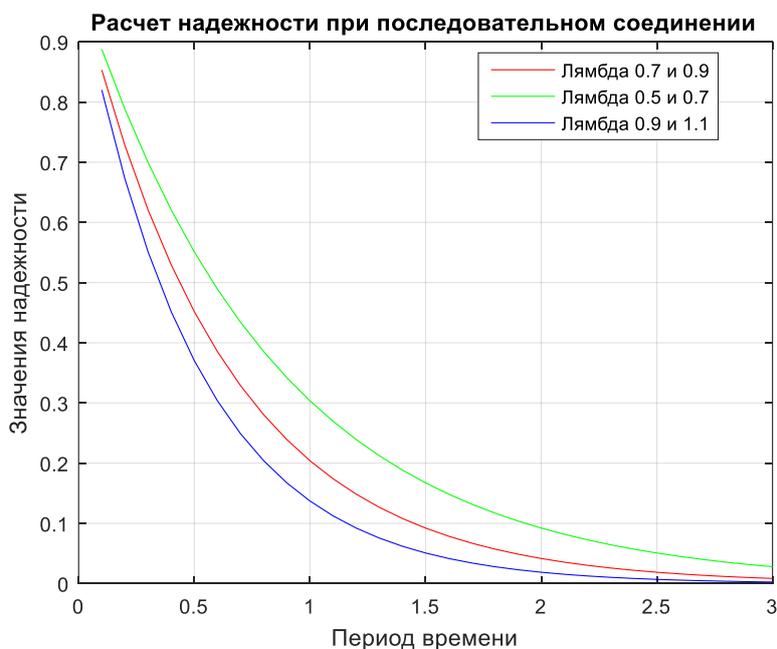


Рис. 4. Пример графического расчета надежности для последовательного соединения элементов

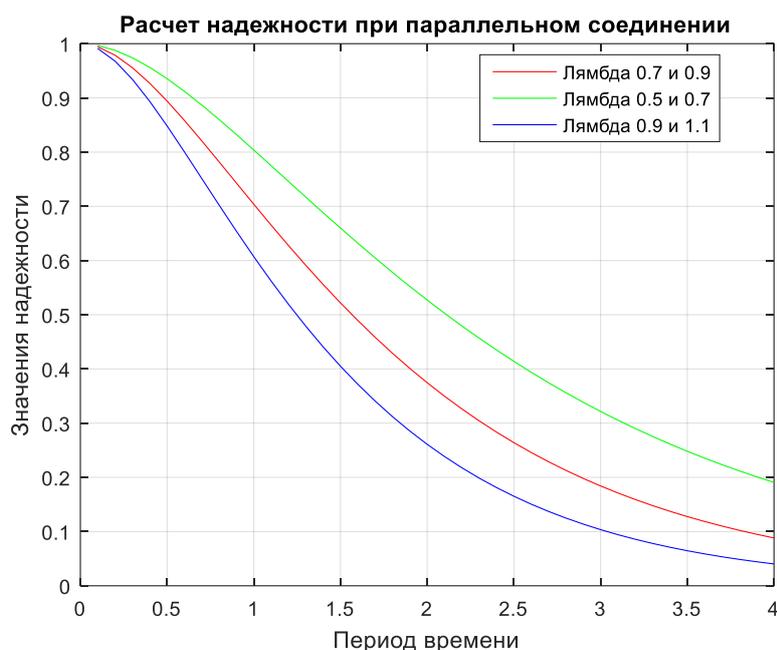


Рис. 5. Пример графического расчета надежности для параллельного соединения элементов

Таким образом, в рамках данной работы был разработан программный комплекс для расчета надежности невосстанавливаемых систем. Данный расчет является оценочный, результаты его работы представлены графически. В рамках дальнейшей работы планируется расширение количества узлов для расчета надежности систем. Предполагается продолжить разработку комплекса в части увеличения его функционала, а именно вариантов распределения функции надежности и усовершенствования интерфейса.

#### Библиографический список

1. Шкляр В. Н. Надежность систем управления. Томск: изд-во Томского политехнич. ун-та, 2009. 126 с.
2. Рыжкин А. А., Слюсарь Б. Н., Шучев К. Г. Основы теории надежности. Издат. центр ДГТУ, 2002. 182 с.
3. Глазунов Л. П., Грабовецкий В. П., Щербаков О. В. Основы теории надежности автоматических систем управления. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 106 с.
4. Ветошкин А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск. Изд-во ПГУАиС, 2003. 154 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы .....</b>	<b>3</b>
<i>Аверченков А. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЮЩЕГО ДВИГАТЕЛЯ МАХОВИКА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	3
<i>Аристов А. А., Епринцев М. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	6
<i>Аристов А. А., Епринцев М. А.</i> РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА СТЕНДА ДЛЯ ДЕМОСТРАЦИИ И ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ МАХОВИКОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	9
<i>Артамонова М. А.</i> ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....	13
<i>Артемьев А. Н.</i> ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ВАРИАЦИИ АЛЛАНА ДЛЯ ВИНЕРОВСКОГО ПРОЦЕССА...	17
<i>Бусарева А. А.</i> ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....	20
<i>Гамаев А. М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТТЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЭМС-ДАТЧИКОВ.....	24
<i>Драненков Д. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАЗЕМНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ДРОНОВ.....	30
<i>Дятлов Ю. К.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДУКЦИОННОГО ВИБРАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ.....	34
<i>Егорова П. С.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	38
<i>Журавлев А. С.</i> ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СРЕДСТВАМИ -1D-МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	41
<i>Коган Н. А.</i> ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЭМС-ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ.....	45
<i>Кондратьева О. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ.....	49
<i>Кузнецов А. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИНИТНО-ВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ОБРАТНОЙ И БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ.....	53
<i>Лутчин В. Н.</i> СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ .....	58
<i>Масталиева В. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОЙ БИОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА .....	61
<i>Мезенин М. В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО РАСХОДОМЕРА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ XFLOW .....	65
<i>Минив Е. А.</i> ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ. ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ.....	69
<i>Мурадзаде М. М.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ.....	72
<i>Осипов П. Ю.</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНИРОВАННЫМ ДОВОРОТОМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НАЛИЧИЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ СВЯЗЕЙ .....	76
<i>Полосков В. А.</i> УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ	

НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЭМС-МОДУЛЯ .....	80
<i>Пурцакин М. И.</i> ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОТЫ ПОЛЁТА НИЗКОЛЕТЯЩЕГО АППАРАТА.....	84
<i>Пяткина Е. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ НИЗКОЛЕТЯЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	88
<i>Сатуленков А. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА.....	91
<i>Сухарев Ю. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТОМ .....	93
<b>Системный анализ и логистика .....</b>	<b>97</b>
<i>Азизова Ю. Ф.</i> АНАЛИЗ ОПЫТА РАБОТЫ МОСКОВСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ....	97
<i>Байрамов Н. И.</i> ВОПРОСЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПЕРЕВОЗОК НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ В РОССИИ .....	101
<i>Башкина А. В.</i> ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА РЕТРОСПЕКТИВНОГО ОПЫТА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ.....	104
<i>Богатов Н. В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАНИЯ МАРШРУТА НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	108
<i>Борисков А. В.</i> РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ПОСТАВОК ДЛЯ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ БУЛОЧНЫХ.....	111
<i>Добровольская А. А.</i> АНАЛИЗ И МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК ЛЕГКОВЫМИ ТАКСИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА .....	113
<i>Евстратова Е. В.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА.....	117
<i>Ипатов А. А.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ.....	123
<i>Ким А. И.</i> ЦЕПИ ПОСТАВОК С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ КОНКУРЕНЦИИ .....	126
<i>Киршина Н. А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ -2-ГО УРОВНЯ .....	131
<i>Костин А. С.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ НА УЧЕТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ....	135
<i>Лабутина Е. С.</i> ПОНТОННАЯ ПЕРЕПРАВА САМОХОДНОЙ ТЕХНИКИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПАРОМНОЙ ПЕРЕПРАВЕ .....	142
<i>Пономаренко К. В.</i> АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	145
<i>Смирнова М. А.</i> МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В МЕГАПОЛИСЕ .	149
<i>Яськова Е. Ю.</i> ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХЭТАЖНЫХ ВАГОНОВ НА РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ.....	155
<b>Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами.....</b>	<b>160</b>
<i>Булавин С. А., Никитин Д. А.</i> УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОПЛИВА .....	160
<i>Капитонов Д. А., Шамаев А. О.</i> КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ДАТЧИКОВ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	162
<i>Крузе А. Ю., Палагин М. И., Сумин Д. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ СПУТНИКОВ.....	167

<i>Назаренко П. А., Задириенко А. И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА .....	171
<i>Пляскина А. А.</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЕРТОЛЕТНОГО ПРОЖЕКТОРА С ФУНКЦИЕЙ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ .....	173
<i>Шамаев А. О., Капитонов Д. А.</i> РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	176
<b>Аэрокосмические компьютерные и программные системы.....</b>	<b>180</b>
<i>Алексеева К. И., Курбанов Л. И.</i> НАИХУДШАЯ ЗАДЕРЖКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕРЫВАНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЙ В БОРТОВЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ SPACEWIRE .....	180
<i>Арбузов М. А.</i> КРИПТОГРАФИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ .....	183
<i>Богданов Д. А.</i> ОБЗОР СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА NS--1 И РАБОТА В WI-FI СЕТЯХ .....	186
<i>Булыгин А. О.</i> ПСЕВДОТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЦЕН НА ДИСПЛЕЕ СМАРТФОНА.....	189
<i>Василенко И. Д.</i> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛА И ВОЗРАСТА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ .....	192
<i>Волк А. О.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ С ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ.....	195
<i>Карандашев А. А.</i> СКРЕМБЛИРОВАНИЕ И ПОДСЧЁТ КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC ПРИ МНОГОПОЛОСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В SPACE FIBRE.....	198
<i>Мионов Я. Р., Карпова Е. А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ .....	201
<i>Кузнецов Д. А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ПОДХОДА К ХРАНЕНИЮ И ОБРАБОТКЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	203
<i>Лазарев С. Е.</i> ПОНЯТИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ, СПОСОБЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	206
<i>Прошкин В. А.</i> СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОКОЛА SOAP И АРХИТЕКТУРНОГО СТИЛЯ REST.....	208
<i>Рабин С. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ИГРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВЕРСИЙ .....	211
<i>Абашкина С. С., Сизова М. М.</i> ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.....	213
<i>Супронович П. В.</i> РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ВВОДА/ВЫВОДА В ОС WINDOWS .....	216
<i>Сячиков А. В.</i> ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ХРОМАТИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ.....	219
<i>Федоров Н. И.</i> УЛУЧШЕНИЕ ФОТОСНИМКОВ ПУТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ЭФФЕКТА ХРОМАТИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ.....	222
<i>Филиппов И. Е.</i> BIG DATA. ПОСТРОЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА НА ОСНОВЕ RASPBERRY PI.....	224
<i>Цариков Н. А.</i> ОБНАРУЖЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ПОВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТА .....	226
<i>Таранова Е. Ю., Шатунов Л. В.</i> ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОЙ ЧАСТЬЮ РАДИОТЕРМИНАЛОВ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ТИПОМ ДОСТУПА.....	229
<i>Михалькова М. А., Ячная В. О.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ОДНОРОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	232

<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ .....</b>	<b>235</b>
<b>Безопасность информационных систем .....</b>	<b>235</b>
<i>Боровков Н. А., Фуряев Ф. И. АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ТОНАЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ ELMO.....</i>	<i>235</i>
<i>Зыков Д. А., Марковский В. С. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В УДАЛЁННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ.....</i>	<i>238</i>
<i>Логашов Д. О. ОБЗОР КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ ПРАВ В МУЛЬТИМЕДИА.....</i>	<i>241</i>
<i>Недошивин П. П. АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ .....</i>	<i>245</i>
<i>Фоминых А. А. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ 1G .....</i>	<i>249</i>
<b>Информационно-сетевые технологии .....</b>	<b>253</b>
<i>Агеев М. П. ТЕМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.....</i>	<i>253</i>
<i>Гуков С. Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОМПРЕССИИ СТЕРЕОПАРЫ ПУТЕМ СЖАТИЯ КАРТЫ ВЕКТОРОВ СМЕЩЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ ПАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.....</i>	<i>258</i>
<i>Кандалова В. А., Шерстнева В. В., Селезнева Я. М. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ -3С В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА.....</i>	<i>260</i>
<i>Селезнева Я. М. МОДЕЛЬ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ.....</i>	<i>263</i>
<i>Чекаль Е. В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА WEB-СТРАНИЦАХ.....</i>	<i>267</i>
<b>Инфокоммуникационные системы .....</b>	<b>270</b>
<i>Борисова М. Д., Савинов М. С. ОБЗОР МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....</i>	<i>270</i>
<i>Васильев Д. А., Козуб И. А. ОБОБЩЕНИЕ ПАРАДОКСА О ДНЯХ РОЖДЕНИЯХ.....</i>	<i>273</i>
<i>Васильева А. А. О МЕТОДАХ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СОЗДАНЫХ ПРИ УЛИЧНОЙ СЪЁМКЕ В УСЛОВИЯХ ТУМАНА.....</i>	<i>277</i>
<i>Вересова А. М. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОННОГО АЛГОРИТМА ИНВЕРТИРОВАНИЯ БИТ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ПАКЕТОВ ОШИБОК .....</i>	<i>285</i>
<i>Зеулин Н. В., Афанасьев М. М. ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ К СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ZABVIX.....</i>	<i>289</i>
<i>Ильдеряков М. С., Степанов Н. В. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ LPWAN-СЕТИ .....</i>	<i>296</i>
<i>Катков А. А. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРЕМЕНТОВ С ОТЛАДОЧНЫМИ ПЛАТАМИ ДЛЯ БЕС-ПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ .....</i>	<i>300</i>
<i>Кузьмичёв С. А., Степанов Н. В. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ СЕТИ LORAWAN В СРЕДЕ NS--1 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ОТ КОНЕЧНЫХ УСТРОЙСТВ.....</i>	<i>303</i>
<i>Фазиллов А. Э. ОБЗОР МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ.....</i>	<i>306</i>
<i>Яловко Е. А. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ.....</i>	<i>310</i>

Научное издание

СЕМЬДЕСЯТ ВТОРАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов  
15–19 апреля 2019 г.

Ответственный за выпуск:  
А. В. Бобович

Редакторская подготовка *О. Ю. Багиева*  
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

---

Подписано к печати 21.10.19. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 18,5. Уч.-изд. л. 32,2. Тираж 150 экз. Заказ № 414.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67