

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»

**«Выставка инноваций – 2018  
(осенняя сессия)»**

Сборник материалов XXVI Республиканской выставки-сессии  
студенческих инновационных проектов

(Ижевск, 15 ноября 2018 г.)



Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова  
Ижевск 2018

УДК 62(06)  
ББК 30у(2Р-6У)  
В93

#### Редакционная коллегия

Председатель: *А. В. Щенятский*, д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной деятельности

*Э. В. Алиев*, доцент кафедры «Системный анализ и управление качеством»; *Е. С. Слащев*, руководитель группы грантов и программ управления научно-исследовательских работ; *И. А. Пудов*, доцент кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника» Института строительства и архитектуры имени В. А. Шумилова; *Л. В. Волкова*, доцент кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики»; *А. Н. Гуменюк*, менеджер по работе с участниками территориальных кластеров Центра кластерного развития Удмуртской Республики; *С. А. Пигалев*, директор бизнес-инкубатора

Ответственный за выпуск *А. П. Тюрин*, зам. начальника УНИР

В93      **«Выставка инноваций – 2018 (осенняя сессия)»** [Электронный ресурс] : сборник материалов XXVI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 15 ноября 2018 г. – Ижевск : Издательство ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – 95 с. – 2,98 Мб. – Систем. требования: Acrobat Reader 6.0 и выше.

ISBN 978-5-7526-0819-3

Сборник составлен из статей, раскрывающих содержание научных и инновационных проектов аспирантов, магистрантов, молодых ученых и студентов ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», выполненных в области приоритетных направлений развития науки и техники. Очное итоговое мероприятие проходило 15 ноября 2018 года. Экспертная оценка и рецензирование проектов выполнялись утвержденной экспертной комиссией.

УДК 62(06)  
ББК 30у(2Р-6У)

ISBN 978-5-7526-0819-3

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018  
© Оформление. Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова, 2018

*А. А. Бабушкина*, бакалавр, e-mail: golaid12@gmail.com

*О. В. Ткачук*, бакалавр, e-mail: olga.tkachuk.99@mail.ru

*Т. С. Шумихина*, бакалавр, e-mail: tanyushka.schumihina@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

## **Перезаправляемая зубная щетка с функцией таймера**

*Данная статья связана с разработкой конструкции перезаправляемой зубной щетки с таймером и сменной насадкой. Здесь рассмотрены назначение и аналоги зубных щеток с таймерами, а также перезаправляемых зубных щеток с их преимуществами и недостатками. Произведен сравнительный анализ зубных щеток и разработана оптимальная конструкция изделия, в которой учтены недостатки аналогов. В работе представлена визуализация результатов проектирования: 3D-модель устройства.*

**Ключевые слова:** перезаправка, зубная щетка, модель, таймер.

### *Введение*

Сегодня в любом предмете ценится компактность и многофункциональность, к этому стремятся многие производители товаров. Изделие должно не только соответствовать своему основному назначению, но и иметь привлекательный внешний вид, занимать как можно меньше пространства, осуществлять дополнительные функции [6]. Эти требования распространяются и на такой товар, как зубная щетка. На данный момент отдельно существуют перезаправляемые зубные щетки и отдельно щетки с таймером, но нет зубной щетки, в которой эти функции были бы совмещены.

Темой данной статьи является разработка модифицированной зубной щетки, в которой не только совмещены щетка и паста, но также встроен таймер. Данное решение компактно и подходит для людей, часто путешествующих или ведущих активный образ жизни. К задачам статьи относятся изучение рынка

зубных щеток и разработка конструкции перезаряжаемой зубной щетки с функцией таймера. Предмет исследования – модификация зубной щетки посредством установки в нее таймера.

### *Основная часть*

Зубная щетка – это приспособление для поддержания чистоты ротовой полости. Поскольку каждый человек индивидуален, ему требуется такая зубная щетка, которая отвечала бы его требованиям. Именно поэтому существует множество разновидностей зубных щеток и несколько их классификаций [1]: по возрасту (детские, для школьников, взрослые); по степени жесткости (сенситив – очень мягкая, софт – мягкая, медиум – средняя жесткость, хард – жесткая, экстра-хард – очень жесткая); по принципу действия (классическая мануальная зубная щетка, электрическая, ультразвуковая, перезаряжаемая зубная щетка).

Таким образом, среди всего разнообразия зубных щеток каждый выбирает свое устройство по определенным личным критериям. Познакомимся ближе с перезаряжаемыми зубными щетками.

На рынке существует немало вариантов перезаряжаемых зубных щеток, и каждая отличается оригинальной конструкцией и дизайном. Обратим внимание на некоторых представителей данного рода изделий.

Зубная щетка Fresh & Go Fresh Travel [2] позволяет дозировать пасту при помощи механизма колесика: при повороте колесика зубная паста выдавливается из ручки-резервуара на щетину. Объем резервуара для пасты составляет 25 мл, этого достаточно на 30 чисток.

Основным отличием зубной щетки Twist & Brush [3] от аналогов является наличие на корпусе измерительной шкалы и съемной насадки с щетиной.

Зубная щетка OHSO Marko Travel [4] уникальна своим механизмом перезарядки и имеет съемную щетину, поэтому каждые три месяца не нужно покупать новую щетку. В закрытом виде эта модель напоминает письменную ручку.

Для модификации была выбрана именно перезаряжаемая зубная щетка, так как она функциональна, но еще не приобрела широкой известности. Это устройство дает отличную базу для совершенствования и доработки.

Далее обратимся к другому сегменту рынка зубных щеток, а именно рассмотрим зубные щетки с таймером [5].

Очень многие электрические щетки имеют функцию таймера. Он может автоматически отключать устройство через 2 минуты после его включения, давать каждые 30 секунд промежуточные сигналы, указывающие на переход к другому участку полости рта. Удобной является технология запоминания времени, уходящего на чистку каждого зуба, а также синхронизация со смартфоном, когда умная щетка подключается к приложению, с помощью которого и регулирует время чистки ротовой полости.

Решение добавить к разрабатываемой щетке таймер обосновано потребностью контролировать время процедуры чистки ротовой полости. Согласно рекомендациям стоматологов, минимальное время чистки зубов – две минуты, но не все следуют этому правилу, подвергая опасности здоровье полости рта. Таймер же сигнализирует о том, что время чистки, безопасное для здоровья зубов и десен, закончилось.

Проанализировав две разновидности зубных щеток – перезаряжаемые аналоги и щетки с таймером, – можно сделать вывод, что каждая из них несет в себе важное для пользователя свойство: перезаряжаемая щетка компактна и избавляет от необходимости брать с собой в дорогу отдельно пасту и щетку, а зубная щетка с таймером помогает сохранить здоровье полости рта, избежать раздражения и повреждения слизистой из-за слишком продолжительной чистки или же, наоборот, недостаточного очищения полости рта вследствие короткой чистки.

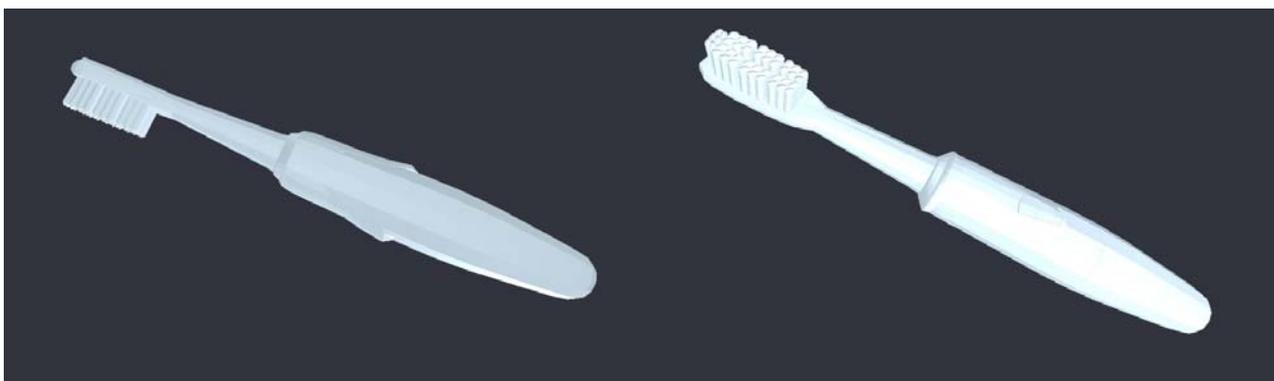
В ходе анализа было принято решение объединить две разновидности зубных щеток в одну, которая была бы еще более функциональной и полезной с точки зрения потребителя. Итак, приступим к разработке конструкции перезаряжаемой зубной щетки с таймером. Начнем с внешнего вида устройства.

Внешний вид товара – это один из важнейших критериев, по которому его выбирает потребитель, поэтому в ходе разработки конструкции щетки было уделено достаточно внимания ее внешнему виду.

В основном разрабатываемая щетка выглядит как самая обычная зубная щетка, за исключением колесика на корпусе и базы подзарядки, идущей в комплекте.

Щетка имеет продолговатую форму, ручка чуть толще, чем у обычной зубной щетки, так как внутри находится полезная «начинка». Для достижения большей эргономичности и во избежание скольжения щетки в руке на корпусе располагаются резиновые накладки. Кроме того, на ручке имеется измерительная шкала, позволяющая отмерить столько пасты, сколько понадобится в поездке на тот или иной срок, и просто контролировать, сколько зубной пасты осталось.

Внешний вид щетки представлен на рисунке.



Перезаряжаемая зубная щетка с таймером

Разберем принцип действия разрабатываемой зубной щетки.

Для потребителя немаловажно, чтобы приобретенный им товар был прост в использовании. В ходе анализа щеток-аналогов была разработана максимально удобная и понятная для потребителя конструкция зубной щетки.

Верхняя часть щетки выполнена как отсоединяемая насадка, что обусловлено рекомендациями стоматологов менять зубную щетку каждые 3 месяца из-за накапливающихся на щетине бактерий и других факторов.

Подача пасты из ручки-резервуара на щетину осуществляется одним поворотом колесика, расположенного у основания съемной насадки, паста пода-

ется на рабочую поверхность щетки через канал в шейке. Заправка щетки зубной пастой происходит следующим образом: съемная насадка отсоединяется и к корпусу привинчивается тубик с зубной пастой, которая выдавливается в резервуар, расположенный в ручке.

Таймер встроен в нижнюю часть корпуса зубной щетки, он вибросигналами отмеряет полуминутные интервалы времени, соответствующие чистке верхней и нижней сторон полости рта. То есть через каждые полминуты производится вибрация, которая сигнализирует, что пора переходить на следующий участок ротовой полости. Работа таймера начинается после нажатия на кнопку, расположенную на корпусе щетки.

Поскольку таймеру для работы необходима энергия, то ниже него в корпусе находится аккумулятор, который заряжается от базы подзарядки. Используя щетку в домашних условиях, можно постоянно оставлять щетку на базе, таким образом избегая ее разрядки. Если же пользователь берет щетку с собой в дорогу, то достаточно полностью подзарядить аккумулятор, и этого заряда хватит надолго, так как зубы нужно чистить 2 раза в день по 2 минуты, то есть всего 4 минуты в день, а с этим аккумулятор справится и без подзарядки в течение нескольких дней. За счет встроенного аккумулятора мобильность щетки сохраняется.

### *Заключение*

В ходе проведенного исследования был изучен рынок зубных щеток, выделены товары-аналоги и произведено их аналитическое сравнение, которое легло в основу разработки нового товара. Результатом работы стала разработка конструкции перезаряжаемой зубной щетки со встроенным таймером.

Перспективы дальнейшей работы над проблемой мы видим в более детальной проработке конструкции модифицированной зубной щетки и адаптации изделия к рынку аналогов. В будущем было бы интересно создать опытный образец перезаряжаемой зубной щетки с таймером и апробировать его.

## Список литературы

1. URL: [http://stomstar.com/stati/article\\_post/kak-vybrat-zubnuyu-shchetku](http://stomstar.com/stati/article_post/kak-vybrat-zubnuyu-shchetku) (дата обращения: 19.10.2018).
2. URL: <http://5198.ru/products/2-v-1-schetka-s-zubnoj-pastoj-vnutri-fresh-go> (дата обращения: 19.10.2018).
3. URL: <http://ok-gadgets.net/twist-brush/> (дата обращения: 19.10.2018).
4. URL: <http://www.membrana.ru/particle/1782> (дата обращения: 19.10.2018).
5. URL: <https://gidtorg.ru/tovary/zubnye-shchetki/zubnye-shchetki-s-taymerom/> (дата обращения: 19.10.2018).
6. Пластиковая бутылка с двойным дном / А. И. Гребенкина, Е. М. Демина, Р. И. Габтуллина, А. А. Будина, А. А. Данилова // Выставка инноваций – 2014 (осенняя сессия) : электронное научное издание : сборник тезисов докладов XVIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 15–17.

*В. С. Волков*, магистрант, e-mail: volkov0995@mail.ru

*М. Р. Королева*, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

### **Газодинамика воздушно-тепловой завесы**

*Во всем мире непрерывно растет уровень требований к параметрам воздушной среды в помещениях различного назначения. Показателем всевозрастающего уровня таких требований служит тот факт, что перечень помещений, в которых должны поддерживаться оптимальные условия воздушной среды с помощью систем кондиционирования воздуха, увеличивается с каждым годом, а соответственно, растет и потребление энергии необходимое для поддержания этих параметров. Воздушно-тепловые завесы (ВТЗ) помогают решить сразу несколько проблем, связанных с поддержанием микроклимата и энергоемкости здания в целом. В свою очередь и тип, и мощность ВТЗ также должны быть выбраны с учетом используемых помещений.*

*В настоящее время такую задачу более рационально решить с использованием программных продуктов, решающих задачи вычислительной газодинамики. Кроме совместного решения задач движения воздуха в ВТЗ и окружающем ее помещении, можно также усовершенствовать конструкцию самих ВТЗ.*

*Целью исследования является изучение термодинамических процессов во внутреннем объеме ВТЗ. В докладе представлена математическая модель, описана геометрия ВТЗ и принцип ее работы, результаты расчетов движения газа в тракте ВТЗ, полученных с помощью пакета FlowVision. На основе полученных результатов определены критические области в конструкции ВТЗ.*

**Ключевые слова:** воздушно-тепловая завеса, численное моделирование, идеальный газ, FlowVision.

## 1. Постановка задачи

### 1.1. Математическая модель

Для дальнейшего решения задачи необходимо записать математическую модель течения идеального газа в канале воздушно-тепловой завесы (ВТЗ). Создаваемая математическая модель должна позволять рассчитывать поля скорости, давления и температуры газа в объеме ВТЗ в любой момент времени, в том числе в пусковом и установившемся режимах работы тепловой завесы.

Решение задачи осуществлялось в рамках модели идеального (невязкого, нетеплопроводного) газа на основе системы уравнений Эйлера в плоской постановке.

Система уравнений Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i}{\partial x_i} = 0; \\ \frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i v_j}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho f_i, & i, j = 1, 2, 3; \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial \rho H v_i}{\partial x_i} = \rho f_i v_i. \end{cases}$$

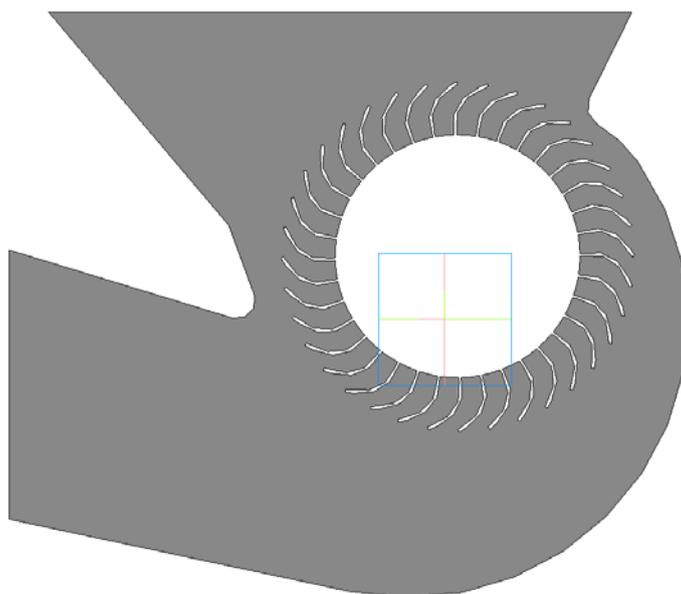
$$\text{Граничные условия: } \begin{cases} \frac{\partial v}{\partial n} \Big|_s = 0, & \frac{\partial p}{\partial n} \Big|_s = 0, & \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_s = 0; \\ \rho V_n = 0; \\ p_b = 0. \end{cases}$$

$$\text{Начальные условия: } \begin{cases} v = 0; \\ T = 30; \\ p = 0. \end{cases}$$

### 1.2. Геометрия ВТЗ

Рассматриваемая конструкция представляет собой воздушно-тепловую завесу, в состав которой входят корпус и тангенциальный вентилятор, предназначенный для обеспечения прохождения газа по каналу. Направление движения газа через канал воздушно-тепловой завесы – сверху вниз [1].

Сечение пространственной модели представлено на рис. 1.



*Рис. 1.* Геометрия расчетной области

### *1.3. Принцип работы*

Тепловая завеса имеет довольно простой принцип работы. Благодаря функционированию вентилятора, который расположен внутри устройства, происходит забор воздуха из помещения. Воздух проходит внутрь тепловой завесы сквозь перфорированную стенку в корпусе. На следующем этапе осуществляется нагрев воздушных масс в специальном отсеке при помощи электрического / водяного нагревателя. Далее завеса выдувает массы через сопло мощным потоком, и, таким образом, воздух попадает обратно в помещение. Сильная струя воздуха, которая направлена по всей высоте дверного проема, перекрывает его полностью, и создает так называемую завесу из воздуха, невидимую для человеческого глаза и не позволяющую сквознякам проникать внутрь [2].

Следует обратить внимание, что от принципа конструкции турбины (она отвечает за создаваемый поток воздуха тех или иных характеристик) зависит, как работает тепловая завеса. Чтобы струи были равномерны, нужна единая турбина с двигателем на торце, которая будет проходить по всей плоскости устройства [3].

## 2. Результаты расчетов

Рабочий профиль воздушно-тепловой завесы был построен с помощью пакета программ Компас 3D [4] (рис. 1). Далее построенная геометрия была импортирована в комплекс FlowVision [5], где осуществлялось построение конечно-объемной сетки для данной области. Мощность сетки составила 2500 элементов (рис. 2).

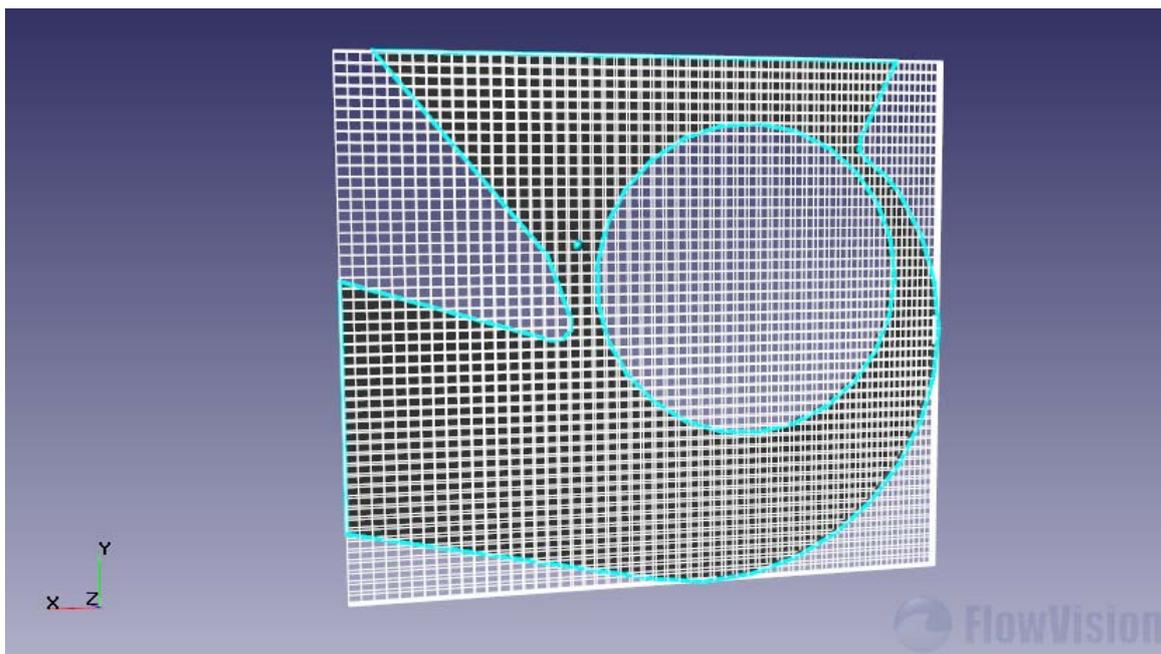
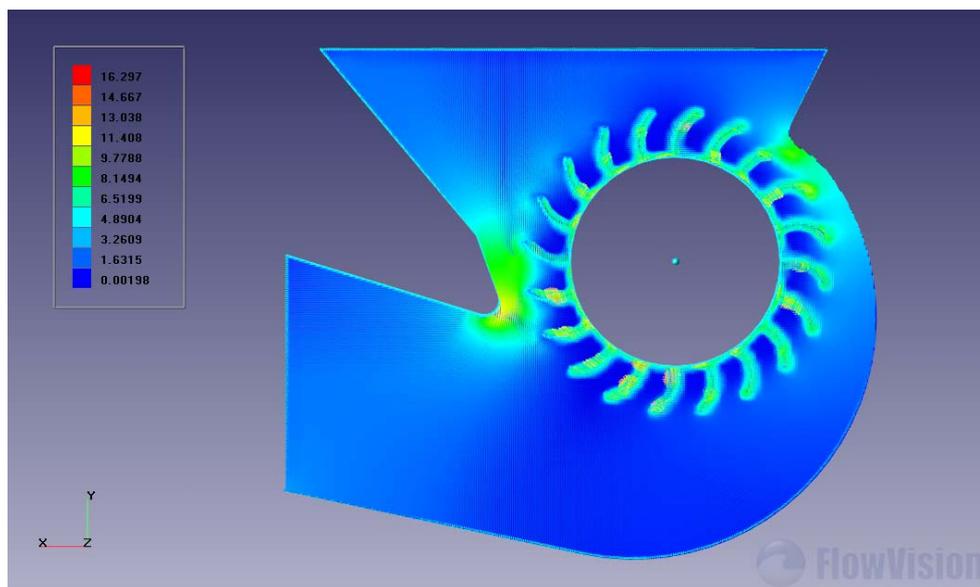
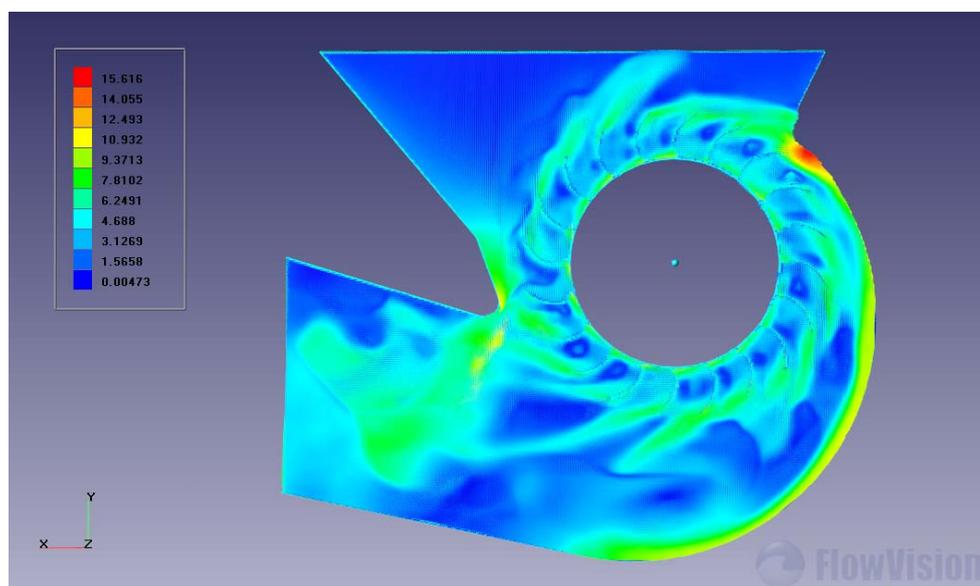


Рис. 2. Расчетная сетка для геометрической расчетной области

После задания исходных данных и граничных условий было проведено численное моделирование течения газа во внутреннем объеме ВТЗ. Картины распределения скорости, давления и температуры показаны на рис. 3–5. На рисунках отражены два состояния: на момент запуска ВТЗ и установившийся режим работы завесы.



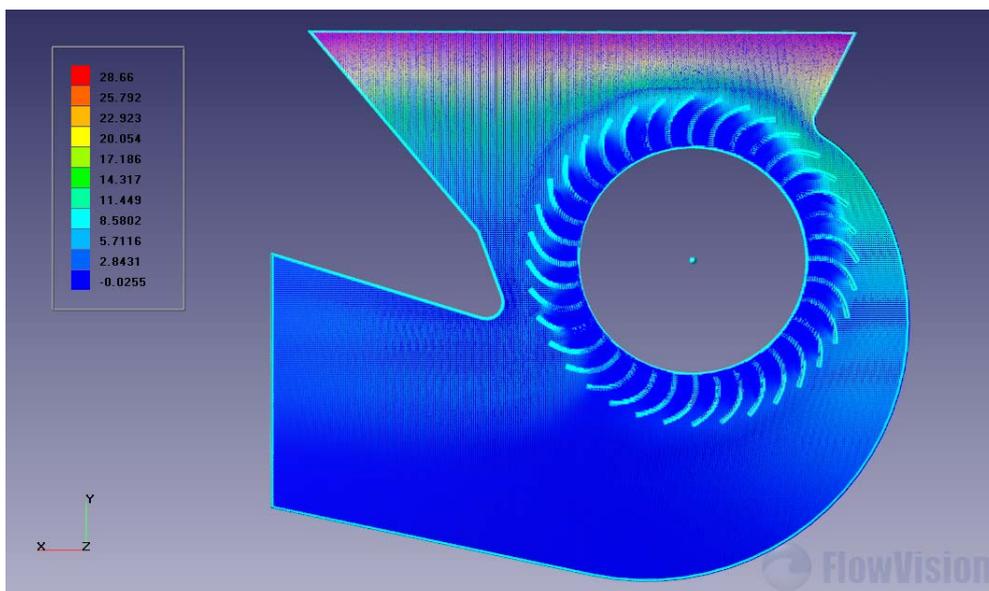
*a*



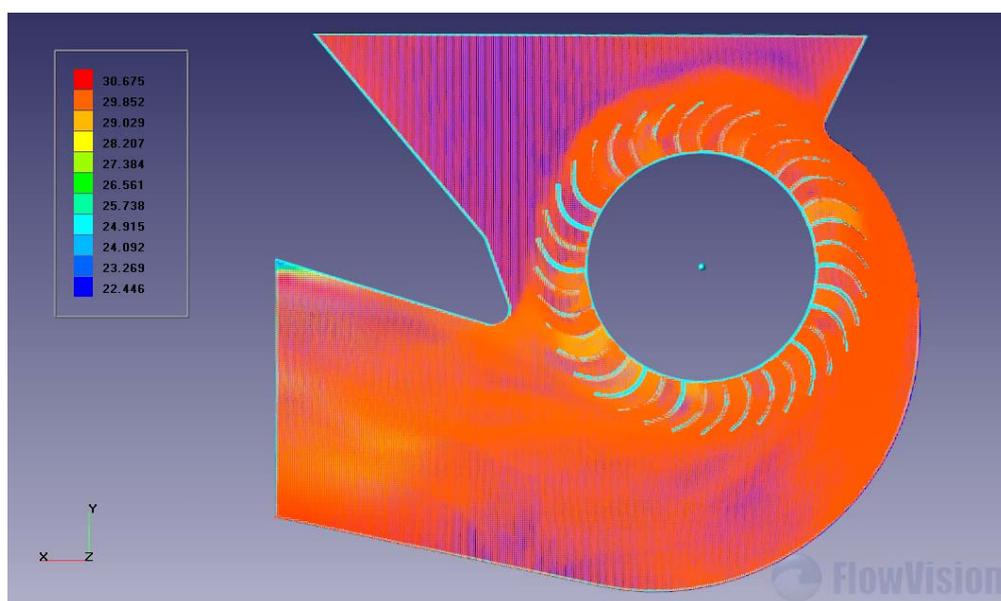
*б*

*Рис. 3.* Поле скорости: *a* – начало работы ВТЗ;  
*б* – установившийся режим работы ВТЗ

В начальный момент времени наибольшая скорость потока достигается в минимальных проходных сечениях. При установившемся режиме работы скорость достигает максимального значения 15,616 м/с только в правой сужающейся части канала. Распределение скорости за вентилятором существенно неравномерное.



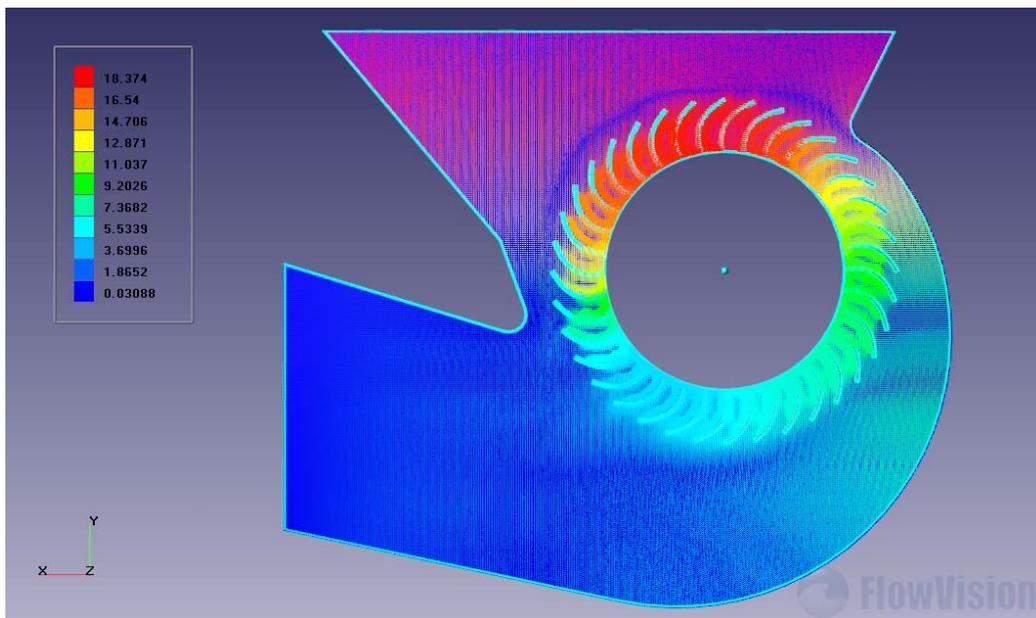
*a*



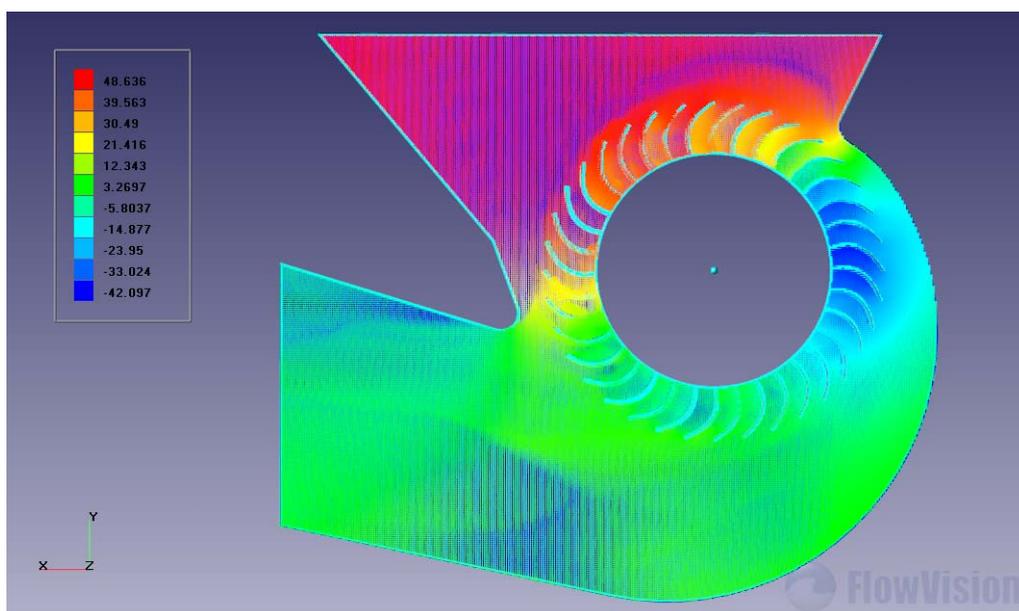
*б*

*Рис. 4.* Поле температур: *a* – начало работы ВТЗ;  
*б* – установившийся режим работы ВТЗ

Из поля распределения температуры газа видно, что после прохождения потока через вращающийся вентилятор распределение температуры равномерно по всей площади выходного сечения. Температура в выходном сечении составляет в среднем 29,852 °С.



*a*



*б*

*Рис. 5.* Поле давлений: *a* – начало работы ВТЗ;  
*б* – установившийся режим работы ВТЗ

Аналогичную картину распределения можно увидеть на рис. 5. Из-за вращения вентилятора минимальное давление газа приходится не на критическое сечение канала, а чуть смещено ниже и составляет -42,097 Па.

### Список литературы

1. *Эльтерман В.М.* Воздушные завесы / В. М. Эльтерман. – М.: Машгиз, 1961. – 164 с.
2. *Mott L. F.* Design for protection by air curtain / Heating and Air Conditioning Journal. 1962. № 2.
3. *Батурин В.В.* Основы промышленной вентиляции / В. В. Батурин. – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.
4. URL: <https://kompas.ru> (дата обращения 16.10.2018).
5. URL: <https://flowvision.ru> (дата обращения 16.10.2018).

*Н. Ю. Елькин*, студент, e-mail: enricocarvalio@mail.ru

*К. А. Андрюшаев*, аспирант

*С. В. Казанцев*, студент

*Г. В. Ломаев*, д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

## **О возможности бесконтактного измерения перемещения, температуры и деформации объекта с использованием бистабильных ферромагнетиков**

*Температура и давление внутри объекта исследования приводят к деформации и перемещению стенок и изменению температуры на его поверхности. Измеряемые параметры: перемещение и деформация стенки, температура поверхности стенки сосуда. В качестве чувствительных элементов на поверхности объекта выбраны бистабильные сердечники, а в качестве измерителя изменений магнитных полей сердечников предполагается использование магнитометра-градиентометра. В данной статье приведены исследования возможности и разработаны принципы измерения параметров объекта и даны рекомендации по практической реализации представленных принципов.*

**Ключевые слова:** бистабильные ферромагнетики, магнитометр-градиентометр, измерение температуры, измерение перемещений, измерение деформаций.

Авторы [1, 2] максимально расширяли сферу практического использования бистабильных ферромагнетиков в различных областях измерений, контроля и автоматики. В представленной статье речь идет о разработке датчиков для измерения перемещения, температуры и давления.

Целью исследования является оценка возможности регистрации (измерения) перемещения, температуры на поверхности или в подповерхностном слое и деформации объекта с использованием первичных преобразователей из бистабильных ферромагнетиков.

Объект исследования представляет собой сосуд диаметром 800 мм с оболочкой из стекловолоконного пластика толщиной 30 мм (рис. 1). Температура и давление внутри сосуда приводят к деформации и перемещению стенки оболочки и изменению температуры на ее поверхности. Необходимо измерить следующие величины: перемещение и деформацию оболочки, температуру поверхности стенки бесконтактным способом. Для измерения магнитных полей магнитометр-градиентометр.

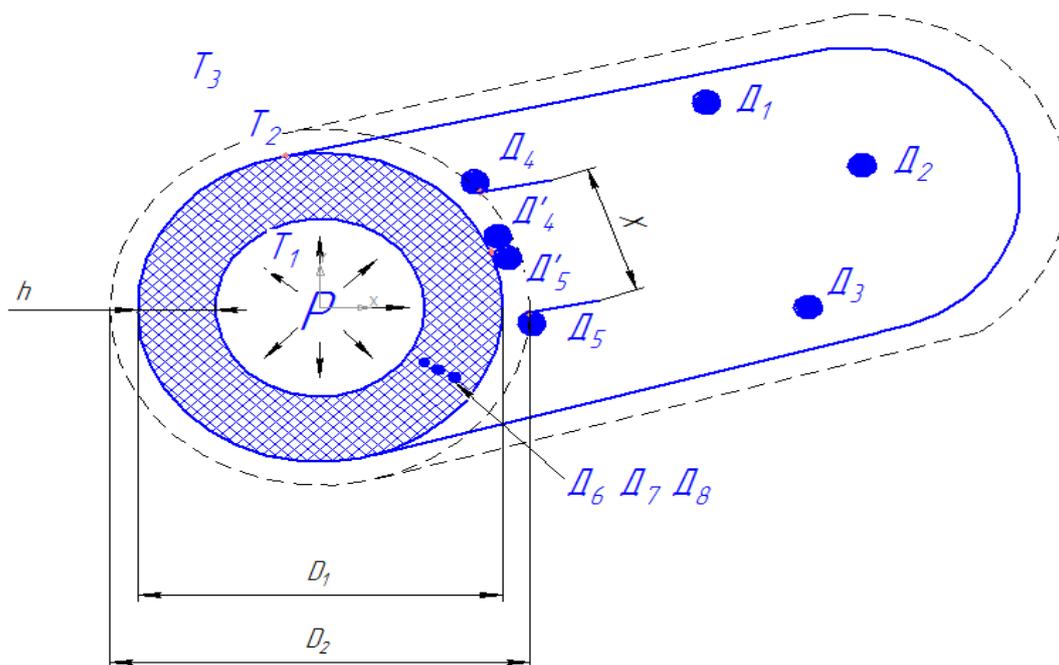


Рис. 1. Описание объекта исследования и схема расположения датчиков: ( $D_1$ – $D_3$  – датчики температуры, закрепленные на поверхности наружной стенки объекта;  $D_1$  – горизонтальный;  $D_2$  – вертикальный;  $D_3$  – перевернутый;  $D_4$ – $D_5$  – датчики перемещения до деформации оболочки ( $P=0$ );  $D_4'$ – $D_5'$  – перемещенные датчики после деформации оболочки на величину  $X$ ;  $D_6$ – $D_8$  – погруженные датчики температуры)

В табл. 1 и на рис. 2 представлены использованные в исследованиях сердечники из бистабильных ферромагнетиков и постоянных магнитов. Элементы из постоянных магнитов в данном случае могут применяться в качестве индикаторов температуры или эквивалентов бистабильных сердечников проведения качественных опытов, а элементы из БИСЕР-1...3 для измерения температуры,

деформации и перемещения. Принципы измерения с помощью перечисленных элементов приведены ниже.

Таблица 1. Сердечники из бистабильных ферромагнетиков

| Тип сердечника    | Материал сердечника                | Размеры, мм                 | Температура Кюри, °С | Поле старта $H_s$ или коэрцитивная сила $H_c$ , А/см (остаточная намагниченность $B_r$ , мТ) |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--|
| БИСЕР-1           | викаллоевая проволока              | $\varnothing 0.3 \times 10$ | $\geq 500$           | 240...320  |
| БИСЕР-2           | аморфная лента                     | $120 \times 2 \times 1$     | 450–500              | 1,2...1,8  |
| БИСЕР-3           | аморфный микропровод               | $\varnothing 0.03 \times 5$ | 400–450              | 1,5...10   |
| Неодимовый магнит | Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B | $\varnothing 5 \times 25$   | 310–340              | $\geq 876$ (1320-1380)   |
| Самариевый магнит | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub>   | $\varnothing 8 \times 35$   | 800                  | 1433-1831 (1,05-1,08)  |
| Ферритовый магнит | MF35                               | $\varnothing 20 \times 6$   | 450                  | 215-239 (430-450)  |

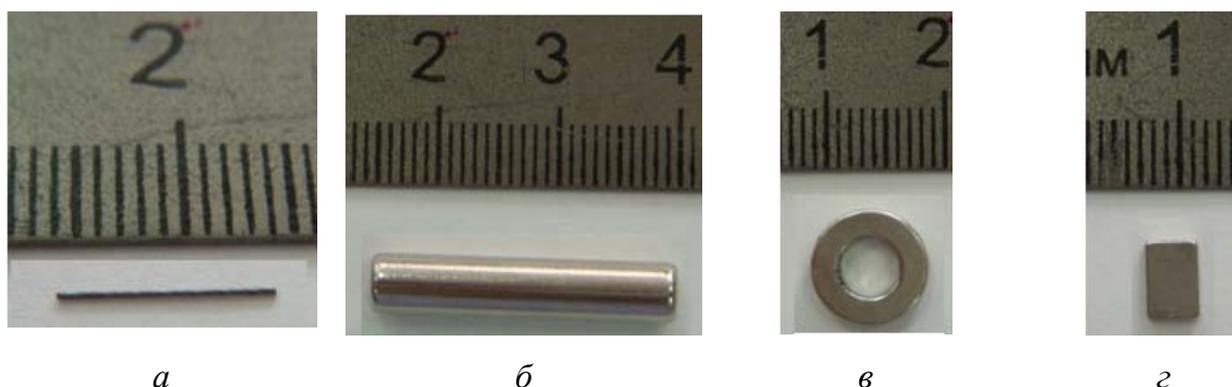


Рис. 2. Магниты, используемые для чувствительных элементов: а – бистабильный ферромагнетик БИСЕР-1; б – цилиндрический магнит с осевым намагничиванием; в – кольцевой магнит с торцевым намагничиванием; з – магнит в виде пластины

**Измерение перемещения бистабильного сердечника.** Измерение перемещения элементов объекта исследования сводится к измерению магнитного поля бистабильного сердечника, закрепленного на подвижной части объекта. Опыты по измерению перемещений совпадают по измерительной процедуре с опытами по измерению давлений и описаны ниже.

**Принципы измерения температуры.** Датчики для измерения температуры могут располагаться на объекте, как указано на рис. 1. Как видно из рисунка, поверхностные датчики Д1–Д3 в пространстве могут быть расположены в двух плоскостях – в вертикальной Д2 и горизонтальной Д1, Д3, причем датчик Д3 перевернут по отношению к датчику Д1. Данное обстоятельство накладывает определенные требования при разработке конструкции датчика. Поскольку задача измерения температуры поверхности не является самоцелью и возможна формулировка ее следующим образом: необходимо измерить распределение температуры в динамике по толщине оболочки  $h$ . В этом случае датчики располагаются по толщине оболочки Д6–Д8. Перечисленные датчики трудно сконструировать универсальной конструкции. Как будет предложено в дальнейшем, чувствительные элементы подвижны в пространстве во время измерений, а степени свободы меняются для датчиков Д1–Д5.

Рассматривая все известные возможности решения задачи, мы пришли к следующим рабочим гипотезам.

Самым простым решением задачи было бы использование четырех – шести чувствительных элементов (магнитов) с точками Кюри, соответствующими диапазону измерения. Как видно из ранее приведенной таблицы, для измерения с использованием данного принципа подходят материалы чувствительных элементов, изготовленных из викаллой и  $Nd_2Fe_{14}B$ . Принцип был опробован и показал удовлетворительное решение задачи, но не в полном объеме, тем не менее данный принцип измерения температуры мы не отвергаем полностью, так как его можно использовать при размещении чувствительных элементов по толщине оболочки. В этом случае магнитометр будет регистрировать скачки магнитного поля, каждый скачок соответствует одной температурной

точке, а временные интервалы между скачками характеризуют скорость распространения тепловой волны от внутренней оболочки объекта к внешней.

Второй принцип, который был опробован, – это использование чувствительных элементов с температурными точками Кюри значительно выше верхней точки рабочего диапазона температур. Чувствительные элементы размещались и припаивались к металлической подложке из меди сплавами с температурами плавления, соответствующими регистрируемым температурам. В частности, были опробованы сплавы, приведенные в табл. 2. При достижении заданной температуры сплав переходил из твердой в жидкую фазу, освобождая чувствительный элемент. Конструкция чувствительного элемента позволяла изменить его магнитный момент путем его естественного перемещения в пространстве (за счет силы гравитации). На рис. 3 показана линейка с шестью магнитами, каждый из которых соответствует заданным температурным точкам, что достигается выбором сплава из табл. 1. Если температурный ряд расположен в порядке увеличения температуры, то падение магнитов начинается с левого конца линейки. При этом полюса магнитов расположены так, что освободившийся магнит отталкивается от соседнего магнита (рис. 4). Таким образом, на магнит действуют сила отталкивания от соседнего магнита и сила гравитации, что увеличивает надежность регистрации нормированной температурной точки.

*Таблица 2. Химический состав и температура плавления сплавов*

| Химический состав сплава                   | Температура плавления, °С |
|--|---------------------------|
| Висмут 50 %, свинец 32 %, олово 18 %       | 90–98                     |
| Олово 52 %, индий 48 %                     | 120                       |
| Кадмий 18,2 %, свинец 30,6 %, олово 51,2 % | 142                       |
| Олово 62 %, свинец 38 %                    | 183                       |
| Олово 55 %, кадмий 20 %, цинк 25 %         | 200                       |

| Химический состав сплава                          | Температура плавления, °С |
|---|---------------------------|
| Кадмий 20 %, олово 40 %, алюминий 15 %, цинк 25 % | 250                       |
| Олово 42–45 %, цинк 54 %, медь 1,2–1,5 %          | 300–320                   |

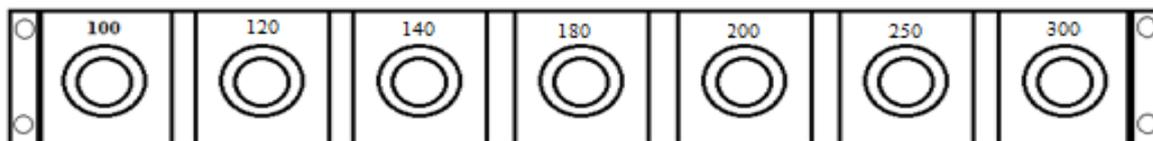


Рис. 3. Линейка чувствительных элементов в виде кольцевых магнитов с нормированными температурными точками.

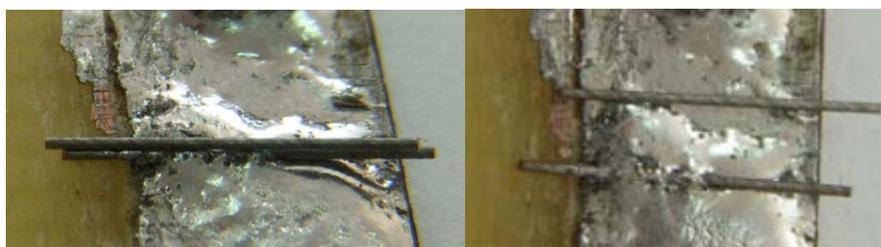


Рис. 4. Иллюстрация работы датчика по второму принципу

Третий принцип представляет собой развитие принципа 2 и необходим для создания РДТ, расположенного на верхней поверхности оболочки (датчик Д1).

На плоскости располагается чувствительный элемент, состоящий из двух магнитов, притянутых разноименными полюсами (рис. 5, а).

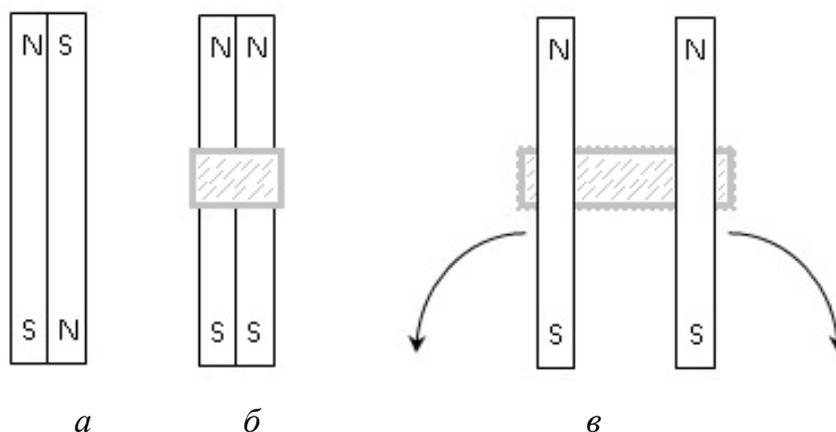


Рис. 5. Чувствительный элемент с двумя подвижными магнитами

Магниты скрепляются между собой и с горизонтальной поверхностью сплавам (рис. 5, б). После этого осуществляется намагничивание магнитов таким образом, чтобы одноименные полюса совпадали. Данное положение можно назвать «чувствительный элемент находится во взведенном состоянии». При нагревании крепящий сплав размягчается и при температуре, равной температуре плавления, силы отталкивания магнитов разводит их в пространстве на некоторое расстояние. При этом поле двух магнитов изменяется на некоторую величину, что может быть зафиксировано магнитометром. Более удачная конструкция показана на рис. 6.

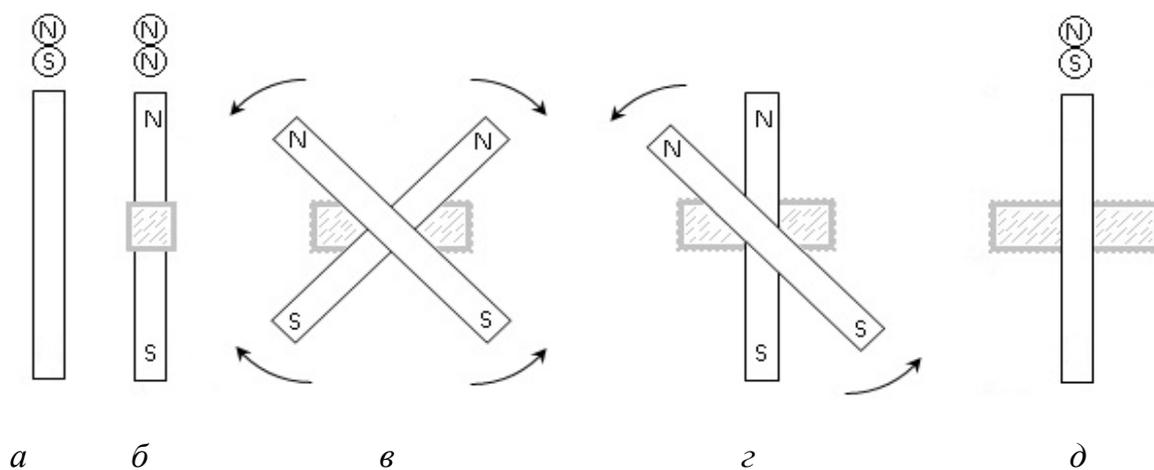


Рис. 6. Чувствительный элемент с двумя вращающимися магнитами

Датчик работает следующим образом. Два магнита, притянутые друг к другу, расположены в вертикальной плоскости. В этом положении они скрепляются сплавом, температура плавления которого нормирована. Далее магниты намагничиваются одноименными полюсами друг к другу («датчик взведен»). При нагревании до нормированной температуры за счет неустойчивого равновесия вертикальной плоскости появляются вращающие силы, которые разворачивают магниты разноименными полюсами друг к другу. Рис. 5, г представляет вариант вращения, когда один из магнитов закреплен в пространстве. Конечное положение магнитов соответствует (рис. 5, д) исходному положению датчика. За счет замыкания разноименных полюсов магнитов поле датчика в окружающем пространстве изменяется на большую величину, чем в конструкции, изо-

браженной на рис. 4, и может быть зарегистрировано на большем расстоянии от регистрирующей аппаратуры. Конструктивное выполнение датчика показано на рис. 6.

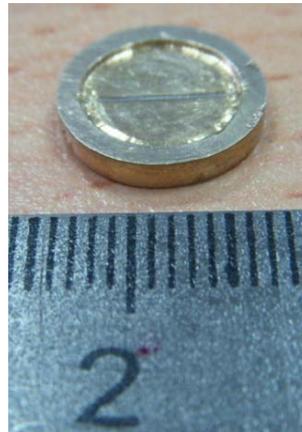


Рис. 6. Конструкция датчика с зафиксированным и вращающимся магнитами

### **Методика и оборудование при проведении опытов**

Лабораторные опыты с измерением температур проводились либо в муфельной печи, либо с помощью электрического тэна. Температура измерялась техническим ртутным термометром с диапазоном от 0 до 350 °С с ценой деления 2 °С и термоэлектрическим преобразователем хромель-копель, термоЭДС измерялась вольтметром В7-54/3, перевод показаний вольтметра в температуру производили согласно ГОСТ Р 8.585, температурное поле регистрировалось тепловизором Flir TG165.

### **Принципы измерения давления внутри камеры**

Давление внутри сосуда вызывает напряжение  $\sigma$  в стенке оболочки (1):

$$\sigma = \frac{E\Delta l}{L} \quad (1)$$

и ее деформацию ( $E$  – модуль Юнга;  $\Delta l$  – абсолютное удлинение оболочки;  $L$  – длина окружности оболочки).

Деформация сосуда составляет 0,5 %, поэтому дугу  $\Delta l$  можно считать прямолинейным отрезком (рис. 7).

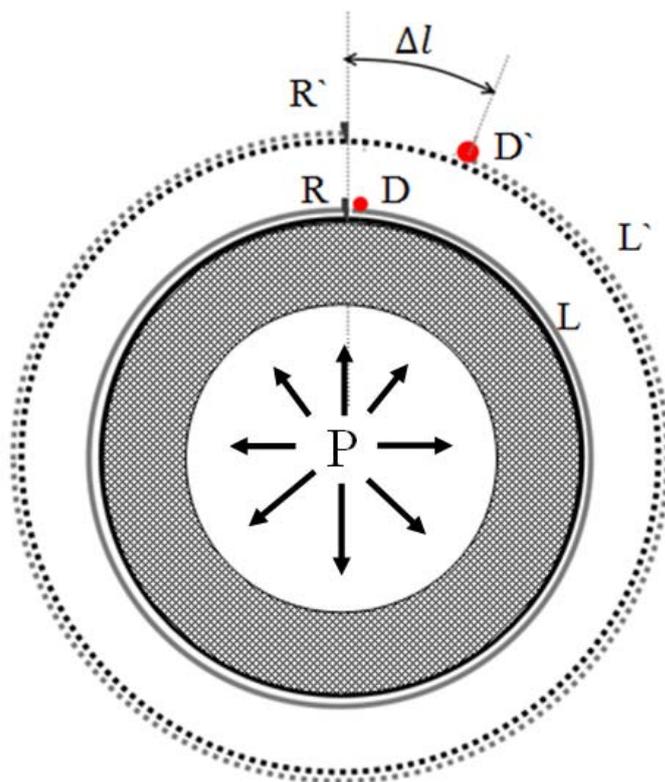


Рис. 7. Деформация сосуда под давлением

На сосуде размещается незамкнутый обруч из упругого материала, закрепленный одним концом  $R$ . На свободном конце обруча расположен чувствительный элемент (диполь)  $D$ . При деформации сосуда, происходит перемещение чувствительного элемента на расстояние  $0 \dots \Delta l$ , пропорциональное давлению внутри сосуда. Перемещение чувствительного элемента, представляющего магнитный диполь (намагниченный сердечник), регистрируется магнитометром.

Таким образом, измерение давления опосредовано оценивается по изменению магнитного поля чувствительного элемента при его перемещении. Схема включения магнитометра выбрана градиентометрической. При отсутствии давления индикатор магнитометра будет показывать нулевое значение. Это позволяет тарировать индикатор в единицах измерения давлений.

Опытным путем установим зависимость регистрируемого магнитного поля от перемещения диполя относительно магнитометра-градиентометра.

Для проведения опыта используются следующие источники магнитного поля:

- неодимовый стержневой магнит ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ );
- бистабильный ферромагнетик БИСЕР-1.

Неодимовый стержневой магнит с аксиальной намагниченностью размера  $5 \times 25$  мм имеет остаточную магнитную индукцию 1170–1220 мТл и коэрцитивную силу  $\geq 955$  кА/м.

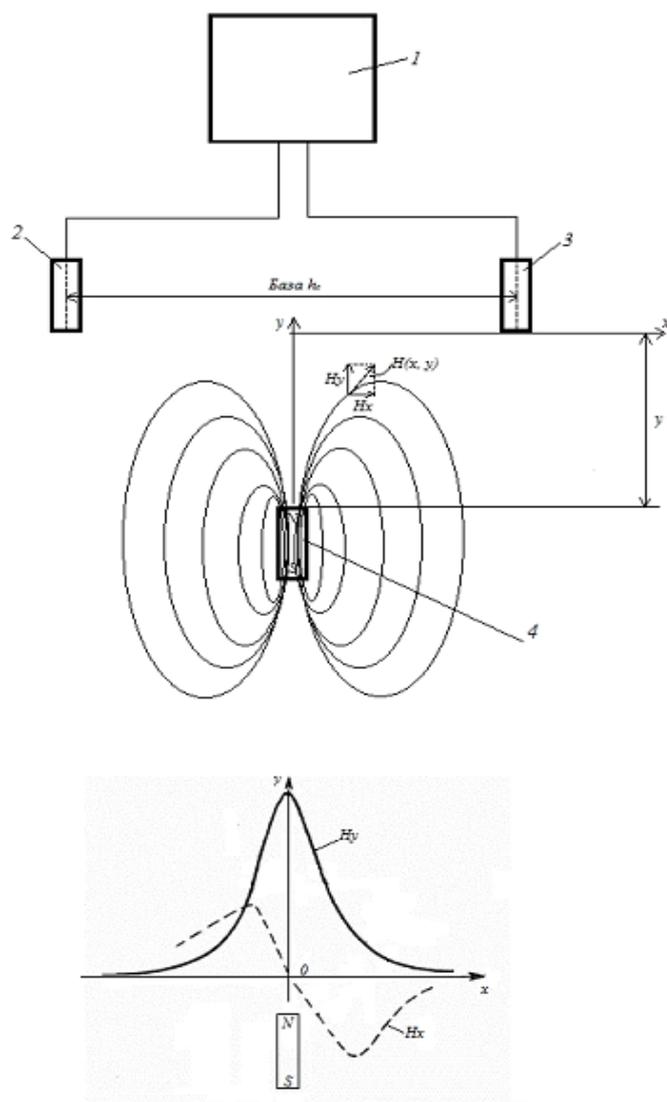
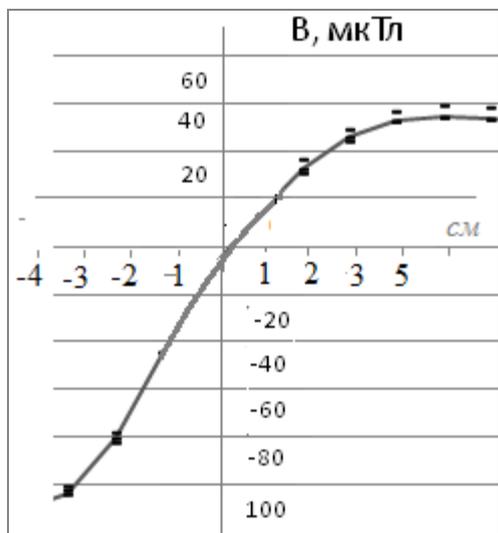


Рис. 8. Схема установки для проведения опыта: (1 – магнитометр; 2, 3 – феррозонды; 4 – чувствительный элемент – магнит;  $h$  – база, расстояние между феррозондами) и распределение поля магнита в пространстве

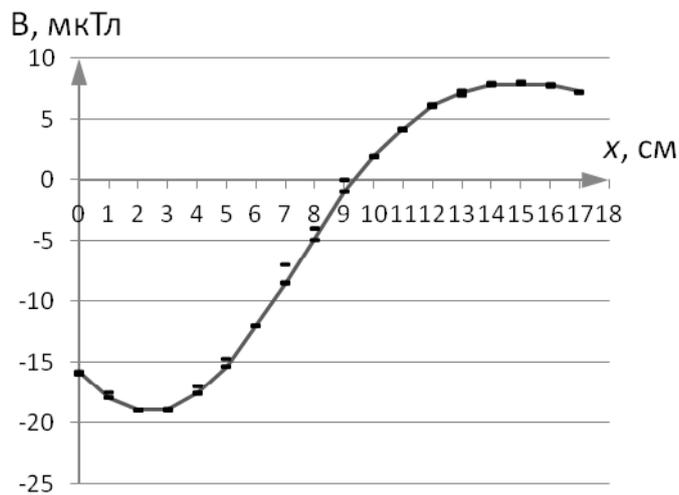
Расстояние между датчиками (база) 100 мм. Измерения магнитного поля производятся на двух расстояниях от феррозондов  $y = 50$  мм и  $y=100$  мм вдоль

оси  $x$ . Магнит расположен соосно феррозондам. Координаты феррозондов по оси  $x$  3 и 13 см (рис. 8).

Чувствительный элемент (неодимовый магнит),  $y = 50$  мм (рис. 9, *а*) и  $y = 100$  мм (рис. 9, *б*).



*а*



*б*

Рис. 9. Магнитное поле, создаваемое чувствительным элементом (неодимовый магнит) по оси  $x$ , расположенной на расстоянии  $y=50$  мм (*а*) от феррозондовых датчиков и на расстоянии  $y = 100$  мм (*б*)

Далее для опытов использовался чувствительный элемент БИСЕР-1 длиной 120 мм, намагниченный в одном направлении. Чувствительный элемент БИСЕР-1,  $y = 50$  мм (рис. 10).

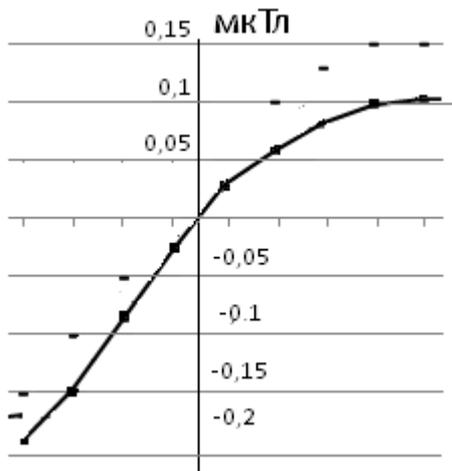


Рис. 10. Магнитное поле, создаваемое чувствительным элементом БИСЕР-1 по оси  $x$ , расположенной на расстоянии 50 мм от измерительных катушек

## **Заключение**

Проведены опыты с использованием чувствительных элементов: бистабильная ферромагнитная проволока из викаллой-1 диаметром 0,3 мм различной длины от 10 до 200 мм, постоянные магниты разных форм и размеров (неодимовый стержневой магнит с аксиальной намагниченностью с размером 5×25 мм и другие).

В качестве измерителей магнитного поля в опытах использовались:

- феррозондовый магнитометр собственной разработки (КИМП-91) с порогом чувствительности 0,1 мкТл;
- индукционный регистратор Electrosensor (производство USA) с порогом чувствительности 0,5 мкТл и частотным диапазоном от 0,5 до 2000 Гц;
- индикатор магнитных бурь (разработка ИЗМИРАН) с порогом чувствительности 2 нТл;
- сверхминиатюрный 3-компонентный геомагнитный сенсор, встроенный в смартфон Samsung Galaxy A5 с диапазоном измерений  $\pm 1200$  мкТл и погрешностью  $\pm 0,15$  мкТл с выводом информации на ПК.

Авторы благодарят М. А. Подсизерцеву за участие в проведении экспериментов.

## **Список литературы**

1. Ломаев Г. В., Каримова Г. В. Датчики Баркгаузена : монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2008. – 368 с.
2. Ломаев Г. В. Исследование метода эффекта Баркгаузена и его применение в измерениях, автоматике и контроле материалов и окружающей среды : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 1998. – 360 с.

*А. Н. Жуков*, студент, e-mail: alexej.zhukov7@gmail.ru

*А. Н. Гуменюк*, магистрант

*Ф. Е. Шевченко*, магистрант

*И. С. Полянских*, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

## **Модифицирующая добавка на основе техногенного сырья для бетонов и растворов**

*В статье рассмотрена возможность применения технической серы в качестве модифицирующей добавки для бетонов на цементном вяжущем. Применяемая термопластическая добавка получена в виде остатка после приготовления на ее основе по золь-гель-технологии раствора. Эффективность использования модификатора основано на возможности термической активации добавки при прогреве полученных на основе цемента изделий. Методика введения добавки с последующей активацией разрабатывалась с адаптацией к производственным условиям, а также с учетом перспективной разработки производственной линии на основе золь-гель-технологии, в которой в качестве активного компонента применяется техническая сера. Произведен анализ влияния модифицирующей добавки на цементную матрицу. Установлено, что введение термопластической добавки в матрицу на основе гидравлического вяжущего приводит к структурным изменениям, повышению прочности и плотности изделий, что позволяет прогнозировать повышение коррозионной стойкости изделий.*

**Ключевые слова:** техническая сера, бетон, полимербетон, термоактивация, коррозионная стойкость, прочность, плотность.

Повышение долговечности строительных материалов за счет улучшения отдельных свойств бетона и повышения эксплуатационных характеристик является в настоящее время актуальной задачей строительного материаловедения.

Новое поколение высокоэффективных минеральных вяжущих и изделий на их основе вызывает интерес с точки зрения повышения долговечности и коррозионной стойкости конструкционных материалов, при этом актуальной является модификация композиций добавками минерального и органического происхождения, с помощью которых возможно получить материалы с требуемым, заранее заданным набором свойств [1–7].

В современной строительной практике применение многофункциональных добавок является наиболее эффективным способом повышения качества бетона. При оптимальном применении комплексных добавок возможно решить спектр проблем, связанных с получением бетона с заданными характеристиками.

Кроме того, высокая прочность, низкая проницаемость, высокая долговечность и морозостойкость бетона могут быть достигнуты за счет оптимально подобранного комплекса добавок. Введение химических добавок является одним из самых универсальных, доступных и гибких способов управления структурой, свойствами бетона и технологией его получения [8].

Также актуальной является разработка составов с пониженным водопоглощением и повышенной водонепроницаемостью бетона, внедрение которых позволит расширить область применения цементных материалов. Срок службы материалов с пониженным водопоглощением и повышенной водонепроницаемостью, используемых в настоящий момент, не удовлетворяет требованиям строительного производства и требует поиска альтернативных технологических решений.

На сегодняшний день ассортимент модифицирующих добавок как отечественного, так и зарубежного производства достаточно обширен. Основу данного ассортимента составляют суперпластификаторы, органоминеральные и полимерные добавки комплексного действия, специально оптимизированные под строительные композиции.

Массовое распространение для модификации строительных композитов получили синтетические жирные кислоты, окисленный вазелин, битумные дис-

персные системы, силиконовые масла, добавки на основе нафталин-формальдегидной смолы С-3 [9, 10].

Однако определяющим фактором является высокая цена за добавки, что в конечном итоге приводит к повышению цены за изделия. Таким образом, актуальным является использование техногенных отходов в качестве модифицирующих добавок для бетонов и растворов.

Проведенный анализ литературы по подбору оптимального модификатора структуры и свойств бетонов и растворов на цементной основе показал, что оптимальным является применение отходов промышленного производства, использование которых позволит одновременно решить проблему получения эффективного материала и проблему утилизации техногенных отходов производства.

Анализ исследований серобетона [5, 6] и бетонополимеров в ранних работах профессора Баженова [9], а также успешное внедрение золь-гель-технологии [7] подтверждает перспективность исследований в области применения технической серы в качестве многофункциональной добавки для бетонов и растворов.

Учитывая, что в основном техническая сера после очистки нефтепродуктов складывается в дисперсной форме, особое внимания заслуживает разработка технологии модификации, в которой используется порошковая, мелкодисперсная фракция технической серы в качестве многофункциональной добавки для изготовления материалов и изделий.

В теории и практике строительного материаловедения практически отсутствуют данные о получении материалов, модифицированных технической серой, полученных путем объемного нагрева изделий, с предварительным равномерным распределением серы по объему материала. Основной проблемой в данном случае является этап равномерного распределения технической серы в объеме матрицы, так как техническая сера обладает повышенной гидрофобностью. Решение данной проблемы возможно за счет применения золь-гель-метода [7], в результате использования которого образуются крупные частицы

серы, которые выпадают в осадок, смачиваемость частиц по поверхности дисперсной фазы повышается. Таким образом, подобный осадок оптимален для использования в качестве модифицирующего компонента при изготовлении бетонов и растворов.

В качестве основного модифицирующего компонента в исследовании применялась порошкообразная высокодисперсная техническая сера, отход производства ОАО «Танеко», г. Нижнекамск.

Процесс изготовления модифицирующей добавки проходил в два технологических этапа, на первом этапе по золь-гель-технологии в лабораторных условиях получали суспензию технической серы в органическом растворителе, затем сера, выпавшая в осадок, просушивалась и в зависимости от массы и вида вяжущего вводилась в композиционный материал. Исследования проводились как на гипсовом вяжущем (вяжущее воздушного твердения), так и на цементном вяжущем (вяжущее гидравлического твердения). Диапазон введения добавки варьировался от 2 до 10 % от массы вяжущего с шагом в 2 %, водовяжущее отношение выдерживалось постоянным для всех изготавливаемых составов. Затем отформованные композиционные материалы помещались в сушильный шкаф, где выдерживались при температуре 120 °С (температура плавления и полимеризации серы) в течение 90 минут (время, необходимое на равномерный нагрев стандартных образцов-балочек с размерами 40×40×160 мм). Затем образцы извлекались из сушильного шкафа и выдерживались в течение 7 дней до испытаний на прочность и водостойкость согласно нормативной документации во влажных условиях. В результате проведенных исследований были получены результаты физико-технических испытаний полученных композиционных материалов, которые показали прирост прочности образцов по сравнению с контрольными составами на 5–20 %, снижение водопоглощения на 10–15 %.

Предлагаемая новая добавка на основе обработанной технической серы имеет практический потенциал применения, который заключается в возможно-

сти ее использования для модификации композиций на основе гипсовых и цементных вяжущих.

Широкое внедрение безотходной золь-гель-технологии для получения строительных материалов позволит оптимизировать производство, повысить качество выпускаемых составов, а также приведет к повышению физико-механических свойств материалов, таких как прочность на сжатие и изгиб, плотность, морозостойкость и долговечность изделий.

Результаты экспериментальных исследований доказывают возможность применения технической серы в качестве экономически эффективного модификатора строительных материалов.

### Список литературы

1. *Ksiazek M.* The influence of penetrating special polymer sulfur binder - Polymerized sulfur applied as the industrial waste material on concrete water tightness, Composites, Part B-Engineering. 62 (2014). С. 137-1422.

2. *Siddique R.*, Utilization of wood ash in concrete manufacturing, Resources Conservation and Recycling. 67 (2012). С. 27-33.

3. *Юдина, Л. В.* Сухие строительные смеси на основе шлакощелочных вяжущих для использования в условиях агрессивной сульфатной среды / Л. В. Юдина, В. В. Турчин, С. В. Сычугов // Сухие строительные смеси. – 2016. – № 5. – С. 17–23.

4. *Polyanskih I. S., Yakovlev G. I., Gordina A. F., Gumenyuk A. N., Drohitka R., Urhanova L. A.* Compositions based on industrial sulfur sol for gypsum materials // Сборник трудов 20. Internationale Baustofftagung, 12-14 september 2018. Weimar:Bauhaus. Band 2, 2018. P. 569-575.

5. *Менковский, М. А.* Технология серы / М. А. Менковский, В. Т. Яворский. – М. : Химия, 1985. – 328 с.

6. *Miryuk O., Belyaeva V., Borisov I.* Magnesium fine-aggregate concrete based on integrated use of technogenic materials / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Pp. 12311-12320.

7. *Korenkova Sofia F., Sidorenko Yulia V.*, Improving durability of cement composite materials / ScienceDirect – 2015. – С. 420-424.

8. *Xianming Shi, , Zhengxian Yang, Yajun Liu, Doug Cross*, Strength and corrosion properties of Portland cement mortar and concrete with mineral admixtures / Construction and Building Materials. 2011. Pp. 3245-3256.

9. *Dagmar Kuchlin, Otmar Hersel*, Betontechnische Daten, HeidelbergCement AG – 2017. Pp. 119-128.

10. *Иохан Штарк*. Долговечность бетона / Иохан Штарк, Бернд Вихт ; под ред. П. Кривенко. – Киев : Оранта, 2004. – С. 71–75.

*Кайсина И.А.*, аспирант, irinakaysina25@gmail.com

*Васильев Д.С.*, к.т.н., доцент

*Абилов А.В.*, к.т.н., доцент, декан

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

*Мейтис Д.С.*, инженер-программист

ЗАО «НПО Телеком»

*Кайсин А.Е.*, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

## **Применение метода сетевого кодирования в сетях БПЛА\***

*В статье описан метод сетевого кодирования применительно к сетям беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Благодаря представленному методу при передаче данных появляется возможность улучшить показатели качества обслуживания. Представлены основные результаты, достигнутые при проведении имитационного моделирования, эмуляции и экспериментального исследования протокола В.А.Т.М.А.Н. Полученные данные свидетельствуют об эффективности сетевого кодирования в сетях БПЛА. Следовательно, сетевое кодирование может быть применено при проведении реальных испытаний.*

**Ключевые слова:** сетевое кодирование, БПЛА, ns-3, имитационное моделирование, эмуляция, качество обслуживания.

### **Введение**

При передаче данных между узлами в сети беспилотных летательных аппаратов возникают проблемы, связанные с низкими показателями качества обслуживания (низкий коэффициент доставки пакетов, падение скорости передачи полезной нагрузки) [1, 2]. Следовательно, важной задачей является приме-

---

© Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В., Мейтис Д. С., Кайсин А. Е., 2018

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-37-00218 мол\_а.

нение новых методов для улучшения качества передаваемых данных, одним из которых может являться метод сетевого кодирования.

Основной тезис сетевого кодирования был сформулирован в 2000 году Rudolf Ahlswede, Raymond Yeung и соавторами [3]. С помощью математического аппарата теории графов авторы доказали, что в определенных сетевых топологиях оптимальный подход к многоадресной передаче информации включает в себя сложение битов (операция XOR, исключающее «ИЛИ») на промежуточных узлах и декодирование этих данных на последующих шагах маршрутизации. Они назвали этот подход сетевым кодированием (network coding). Авторы показали, что классический подход к многоадресной передаче в компьютерных сетях не является оптимальным, а эффективная доставка информации в сетях с многосвязной топологией представляет собой не набор независимых потоков от каждого источника до каждого адресата, а смешение нескольких потоков между собой с помощью сетевого кодирования. После этого метод сетевого кодирования был рассмотрен (в том числе и для беспроводных сетей) в статьях [4–7]. Однако на сегодняшний день применение сетевого кодирования в сетях БПЛА мало изучено в Российской Федерации.

### **Сетевое кодирование в сети БПЛА**

Авторами был рассмотрен метод сетевого кодирования для сети БПЛА в статьях [8–10]. Основная идея сетевого кодирования – увеличение пропускной способности между источником и адресатом за счет кодирования пакетов на промежуточных узлах. Применение данного метода дает возможность объединить нескольких пакетов в один, а значит, уменьшить количество переданных данных.

На рис. 1 представлена передача данных без применения сетевого кодирования. Аня хочет отправить свой пакет Борису. Сначала пакет отправляется (шаг 1) на летающий узел (коптер), тот передает его Борису (шаг 2). В это же время Борис отправляет свой пакет Ане через тот же коптер (шаги 3 и 4). Как показано на рис. 1, процесс передачи требует четыре действия.

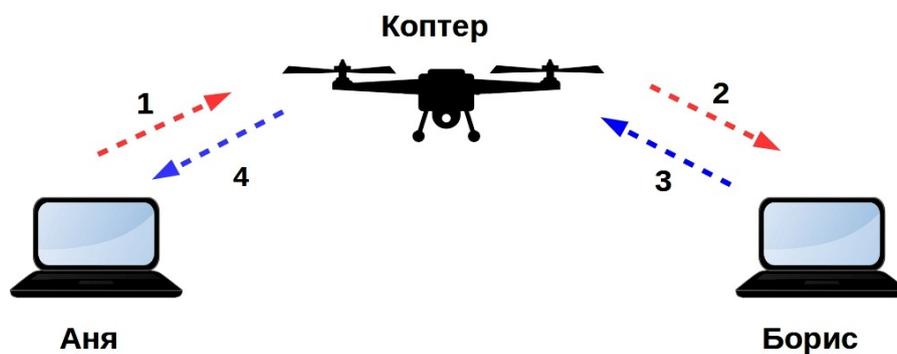


Рис. 1. Пример передачи данных без метода сетевого кодирования

Рассмотрим пример с сетевым кодированием СК (рис. 2). Аня и Борис отправляют свои пакеты на коптер (шаги 1 и 2), который складывает их по модулю 2, далее пакеты рассылаются широковещательно (шаг 3). В итоге вместо четырех передач требуется всего три.

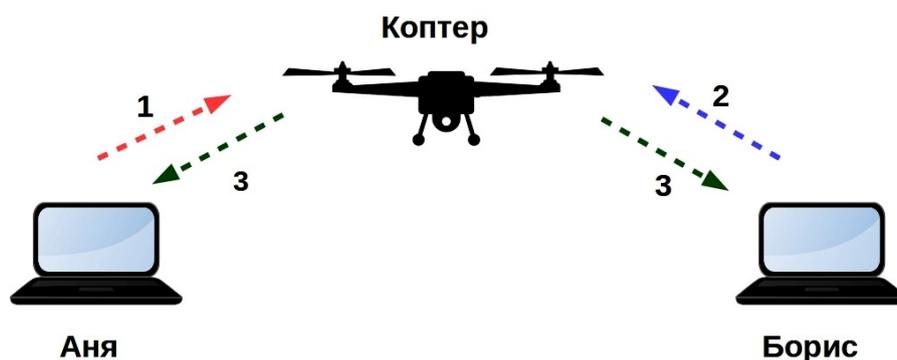


Рис. 2. Пример передачи данных с применением метода сетевого кодирования

Каждый узел в сети БПЛА – это маршрутизатор, который для доставки данных до узлов-соседей полагается на широковещание. Каждый узел в сети БПЛА может выполнять функции маршрутизатора, а также использовать широковещательную рассылку для доставки данных до узлов-соседей [9, 11].

## Результаты

В статье [8] авторами было рассмотрено 3 сценария. В каждом сценарии источник и получатель располагались друг от друга на расстоянии  $d$ , изменялось количество промежуточных узлов (БПЛА) между источником и получателем, также в зависимости от сценария узел (-ы) имитировали движения по окружности с радиусом 50 метров или двигались по случайной траектории.

Рассматриваемая имитационная модель метода сетевого кодирования включает в себя запрос повторной передачи (ARQ). Результаты, полученные в статье, продемонстрировали улучшение показателей качества обслуживания, таких как средний коэффициент доставки пакетов и полезная пропускная способность.

В статье [9] также был рассмотрен метод сетевого кодирования в сети БПЛА для двух сценариев. В сценариях узлы между источником и получателем были неподвижны, т. е. имитировали зависший в воздухе коптер. В статье также представлены результаты имитационного моделирования, которые свидетельствуют об эффективности применения данного метода.

В статье [10] была проведена эмуляция передачи UDP-потоков при использовании стационарного и мобильного ретранслятора. Метод сетевого кодирования позволил сократить количество передаваемых ретранслятором пакетов на 5–70 % за счет их сложения по модулю 2 (XOR) на промежуточном узле. В то же время показатель качества обслуживания (полезная пропускная способность) с сетевым кодированием был хуже в среднем на 9,5 %, чем без сетевого кодирования, что могло быть вызвано затратами времени на кодирование на ретрансляторе, а также отсутствием поддержки запроса повторной передачи в реализации метода сетевого кодирования и протоколе UDP.

В статье [12] был экспериментально исследован протокол маршрутизации В.А.Т.М.А.Н. в сети с топологией точка-точка. Целью исследования являлось изучение принципов работы протокола, для дальнейшей практической реализации сетевого кодирования. Будущие исследования необходимо проводить в сети с ретранслятором, на котором будет функционировать сетевое кодирование.

### **Заключение**

По результатам имитационного моделирования можно сделать вывод, что сетевое кодирование в сочетании с методом запроса повторной передачи (ARQ) способно улучшать показатели качества обслуживания в сетях БПЛА (средний коэффициент доставки пакетов и полезную пропускную способность). Однако эмуляция передачи UDP-потоков не показала выигрыша по полезной пропуск-

ной способности от использования метода сетевого кодирования. Это связано с тем, что в протоколе UDP отсутствует поддержка запроса повторной передачи, а также затратами на кодирование пакетов на узле-ретрансляторе. Предварительно проведено исследование протокола маршрутизации В.А.Т.М.А.Н., на базе которого может быть построена сеть с поддержкой метода сетевого кодирования. По итогу проведенных исследований с помощью имитационного моделирования доказана эффективность сетевого кодирования, а также получена база, необходимая для практической реализации метода на базе существующего протокола маршрутизации.

### Список литературы

1. *Кучерявый, А. Е.* Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек // *Электросвязь*. – 2015. – № 7. – С. 9–11.
2. *Kirichek R. et al.* Software-defined architecture for flying ubiquitous sensor networking / 19th International Conference on; Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE. 2017. Pp. 158-162.
3. *Ahlswede R. et al.* Network information flow // *IEEE Transactions on information theory*. – 2000. Vol. 46. No. 4. Pp. 1204-1216.
4. *Li S. Y. R., Yeung R. W., Cai N.* Linear network coding // *IEEE transactions on information theory*. 2003. Vol. 49. No. 2. Pp. 371-381.
5. *Katti S. et al.* XORs in the air: Practical wireless network coding // *ACM SIGCOMM computer communication review*. ACM, 2006. Vol. 36. No. 4. Pp. 243-254.
6. *Chi Y., Agrawal D. P.* Hycare: Hybrid coding-aware routing with etox metric in multi-hop wireless networks // *Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS)*, 2013 IEEE 10th International Conference on. IEEE, 2013. Pp. 136-144.
7. *Chen Y. et al.* Delay-tolerant networks and network coding: Comparative studies on simulated and real-device experiments // *Computer Networks*. 2015. Vol. 83. Pp. 349-362.
8. *Vasiliev D. S., Kaysina I. A., Abilov A.* Performance Evaluation of COPE-like Network Coding in Flying Ad Hoc Networks: Simulation-Based Study // *Internet of Things*,

Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Springer, Cham, 2017. Pp. 577-586.

9. *Кайсина, И. А.* Сетевое кодирование в сетях FANET / И. А. Кайсина, Д. С. Васильев А. В. Абилов // Электросвязь. – 2018. – № 1. – С. 64–68.

10. *Meitis D. S., Vasiliev D. S., Kaysina I., Abilov A.* Real time emulation of COPE-like network coding in FANET using ns-3 // Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications – 2018: Proceedings of the International Forum (December 12–14, 2018, Izhevsk, Russia). Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2018. В печати.

11. Сетевое кодирование / Э.М. Габидулин и др. // Труды МФТИ. – 2009. – Т. 1, № 2. – С. 3–28.

12. Экспериментальное исследование эффективности протокола маршрутизации В.А.Т.М.А.Н. в сети с топологией точка-точка для FANET / И. А. Кайсина, В. В. Титов, Д. С. Васильев, Д. С. Мейтис, А. В. Абилов, А. Е. Кайсин // Приборостроение в XXI веке – 2018. Интеграция науки, образования и производства [Электронный ресурс]: сб. материалов XIV Всерос. науч.-техн. конф. (Ижевск, 12–14 декаб. 2018 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – В печати.

*А. С. Колотов*, магистрант, e-mail: anko195@mail.ru

*М. Ю. Васильев*, учебный мастер

*М. А. Бояршинов*, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

## **Выбор антенн для обеспечения наилучшей связи по радиоканалу в мишенном комплексе**

*В статье рассматривается набор антенн для дистанционного управления по радиоканалу в мишенном комплексе. Отражены результаты расчета дальности связи на местности. Приведены результаты испытаний для различных типов антенн. Качество связи оценивалось по значениям RSSI и целостности полученных/переданных пакетов данных.*

**Ключевые слова:** мишенный комплекс, ISM диапазон, антенны, дальность связи, RSSI.

### **Введение**

Авторами проводилась разработка устройств для дистанционного управления в мишенном комплексе (МК). Комплекс предназначен для отработки навыков ведения прицельной стрельбы из неавтоматического и автоматического (в режиме одиночного огня) стрелкового оружия и должен обеспечивать возможность проведения тренировочных стрельб на оборудованных и необорудованных полигонах.

Комплекс устройств состоит:

- из пульта оператора (ПО);
- пульта дистанционного управления (ПДУ);
- дистанционно управляемой мишени (ДУМ).

Пульт оператора сформирован на базе персонального компьютера (ПК). Функции ПО обеспечиваются установкой на ПК специального программного обеспечения (СПО). СПО ПК должно обеспечивать отображение на дисплее положение мишеней, факт их поражения и фиксировать потерю связи с мишенью. Кроме того, на СПО ПК возлагается функция протоколирования результатов стрельб и формирование отчета.

Основное назначение модуля ПДУ – обеспечить дистанционное управление ДУМ за счет обеспечения взаимодействия с ПК по проводному и беспроводному интерфейсу и обмена данными и командами по радиоканалу с приемопередатчиком комплекта ДУМ. ДУМ должна принимать управляющие команды от ПДУ по радиоканалу, формировать управляющие сигналы и передавать их в блок управления мишенной установки.

Обобщенная структурная схема системы устройств представлена на рис. 1.

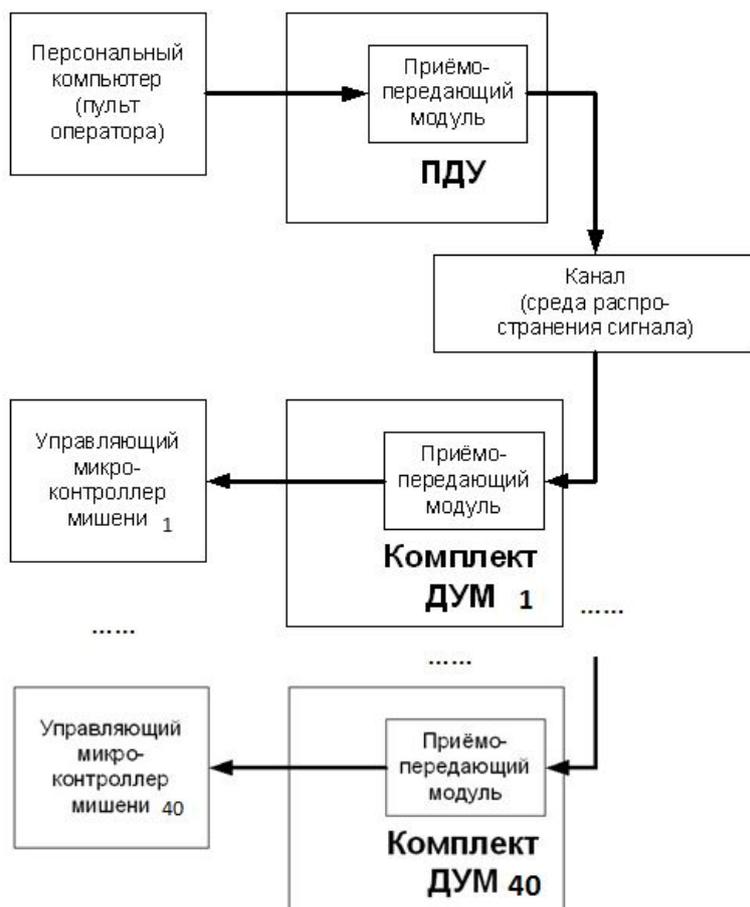


Рис. 1. Структурная схема комплекта устройств, обеспечивающих дистанционное управление мишенями

На рисунке отражены только устройства, обеспечивающие обмен данными и командами.

В процессе разработки радиосистемы инженер, как правило, оптимизирует все остальные параметры для того, чтобы добиться максимальной дальности связи. Это позволяет избежать повышения выходной мощности, применения ретрансляторов или усилителей. Анализ нарушений радиосвязи показывает, что в 90 % случаев причинами таковых являются необоснованное назначение рабочих частот, неправильный выбор типа антенн и мест их развертывания. Выбор антенн является одной из основных задач.

### **Антенны, применяемые в конструкции мишенного комплекса**

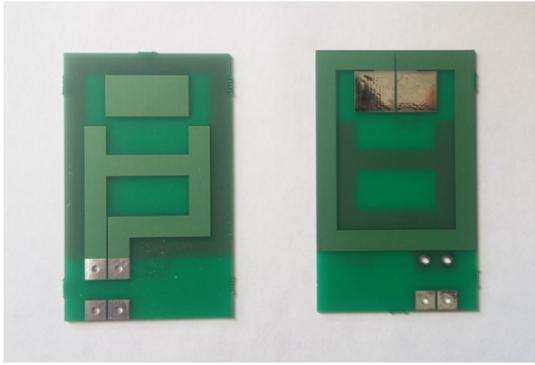
Обычно, в подобных комплексах применяются выносные антенны. Использование выносных антенн значительно увеличивает дальность связи, уменьшает влияние источников помех. Однако в данной работе выставлялось требование размещения антенны на модуле ДУМ на (в) корпусе мишени в зоне, защищенной от попадания пуль и осколков, образовавшихся в результате стрельбы по сменной мишени. Это накладывает ограничения на размеры и конструкцию антенны. В связи с этим для комплекта ДУМ рассматривались антенны типа: спираль, патч и рамочная магнитная. К основным достоинствам этих типов антенн следует отнести малогабаритность, вполне достойную эффективность. Недостаток спиральной антенны проявляется в высокой чувствительности к любым предметам, подносимым к антенне, в то время как рамочная и патч-антенны частично лишены этого [1].

В отношении ПДУ особых ограничений не налагалось. Поэтому нами был выбран волной канал, обладающий сравнительно высоким коэффициентом усиления и хорошей направленностью при простоте конструкции. Для сравнения была рассмотрена попытка возможного применения J-антенны. На зарубежных источниках распространены отличные отзывы в применении такой антенны для портативной техники. Конструкция ее проста, она легко настраивается и согласуется с фидером любого сопротивления.

Название антенн, а также их характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Варианты антенн

| Наименование антенны               | Тип                | Характеристики   | Изображение   |
|------------------------------------|--------------------|--|---|
| АХ-410У<br>(Antex)<br>покупная     | Волновой канал     | <p>Диапазон:<br/>430–470 МГц;<br/><math>R_{вх}=50</math> Ом;<br/>усиление 10 dBi;<br/>габариты, мм:<br/>800×340×30;<br/>вес 700 г.</p> <p>Порошковая покраска</p>                    |     |
| Ј-антенна<br>самодел.              | Ј-антенна          | <p>Диапазон:<br/>432–447 МГц; <math>R_{вх}=50</math><br/>Ом;<br/>усиление 3 dBi;<br/>Габариты, мм: 510×22<br/>(вертикальный цилиндр);<br/>вес 200 г.</p> <p>Пластиковая оболочка</p> |   |
| DAA043SA64S<br>(Dorji)<br>покупная | Спиральная антенна | <p>Диапазон:<br/>430–446 МГц; <math>R_{вх}=50</math><br/>Ом;<br/>усиление 3 dBi;<br/>габариты, мм:<br/>64×8 (вертикальный цилиндр);<br/>вес 7 г.</p> <p>Пластиковая оболочка</p>     |  |

| Наименование антенны                | Тип                        | Характеристики   | Изображение   |
|-------------------------------------|----------------------------|--|---|
| ВУ-433-05<br>(Веуоноог)<br>покупная | Патч-антенна               | <p>Диапазон:<br/>418–448 МГц;<br/><math>R_{вх}=50</math> Ом;<br/>усиление 2,15dBi;<br/>габариты, мм:<br/>115×22×4 (вертикальная пластина);<br/>вес 25 г.<br/>Пластиковая оболочка</p>  |  |
| Рамочная<br>самодел.                | Рамочная магнитная антенна | <p>Диапазон:<br/>440–446 МГц;<br/><math>R_{вх}=50</math> Ом;<br/>усиление 3–4 dBi;<br/>габариты, мм:<br/>40×60×2,2 (вертикальная пластина);<br/>вес 15 г.<br/>Пластиковая оболочка</p> |  |

### Расчет дальности связи на местности

Дальность приема в открытой системе и свободном пространстве приближенно можно оценить по уравнению Фрииса:

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2, \quad (1)$$

где  $P_r$  – мощность, полученная от приемной антенны;  $P_t$  – мощность, подаваемая на передающую антенну;  $G_r$  – коэффициент усиления приемной антенны;

$G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны;  $R$  – расстояние;  $\lambda$  – длина волны;  $\lambda = c/f$ ;  $c$  – скорость света в вакууме =  $299,972458 \times 10^6$  м/с;  $f$  – частота.

Уравнение (1) описывает уровень сигнала в приемнике относительно выходной мощности передатчика, расстояния, длины волны и коэффициентов усиления антенн. Разность между мощностью полученного сигнала  $P_r$  и чувствительностью приемника называется энергетическим запасом или защитной полосой [2].

Например, мощность, полученная от приемной антенны на расстоянии 1000 м при работе на частоте 446 МГц и значениях  $P_t=500$  мВт (27 дБм);  $G_r = 0,83$  дБ;  $G_t = 0,83$  дБ, рассчитанная по стандартному выражению Фрииса, составляет:

$$P_r = 0,5 \cdot 0,83 \cdot 0,83 \cdot \left( \frac{3 \cdot 10^8}{446 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 10^3} \right)^2 = 9,869 \cdot 10^{-10} \text{ Вт},$$

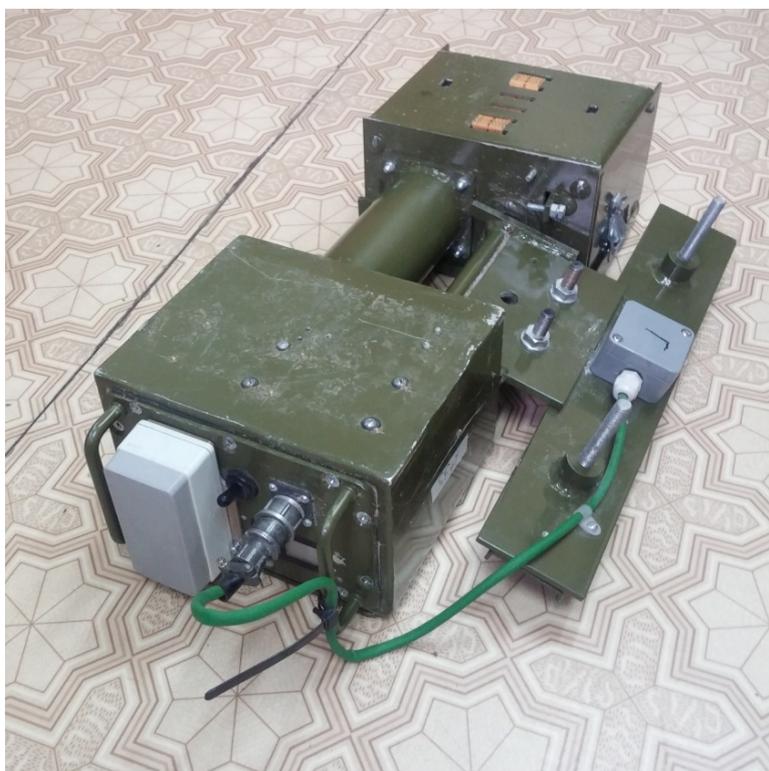
что эквивалентно  $-60,057$  дБм.

### **Экспериментальная оценка дальности связи на местности**

Целью испытаний является оценка дальности передачи данных между радиомодулями, оценка вероятности ошибки передаваемых данных, а также выявление зависимости дальности связи от типа используемой антенны. Оценка по уравнению Фрииса должна быть скорректирована. Для реалистической оценки ожидаемого расстояния должны быть приняты во внимание дополнительные потери. Факт наличия или отсутствия связи оценивался с помощью встроенного в модуль приемопередатчика цифрового показателя уровня принимаемого сигнала (RSSI) с учетом вносимых потерь. RSSI описывает средний уровень мощности принимаемого сигнала при приеме пакета. Данный метод не является сверхточным, но позволяет решить поставленную задачу [3].

Проверка дальности связи осуществлялась на опытных образцах плат МК с трансивером RFM23BP. Одна из них играла роль пульта дистанционного управления (ПДУ), а другая – дистанционно управляемой мишени (ДУМ). Пла-

та ДУМ крепилась к мишенной установке, представленной на рис. 2. Плата ПДУ была расположена в фиксированном положении (нулевая точка отсчета на рисунке 3) на высоте  $1 \pm 0,1$  метра. Модуль ДУМ перемещался относительно точек замера. Скорость передачи данных по радиоканалу 64 кбит/с, тип модуляции GFSK, таймаут опроса мишени 20 мс. Частота, на которой работали устройства, – 446 МГц. Измерения в каждой точке проводились со сменой типа антенны на плате ДУМ с фиксацией значений RSSI и процента пропуска пакетов (оценивался на 30–50 пакетов). Мощность в приемопередатчике установлена на уровне 0,5 Вт, это максимально допустимая мощность для нашего ISM диапазона. Результаты измерений сведены в табл. 2, 3.



*Рис. 2.* Мишенная установка

### **Испытания J-антенны**

Условия эксперимента: к ПДУ подключена J-антенна, к ДУМ попеременно подключались спиральная, рамочная и патч-антенны. Рамочная и патч-антенны располагались вертикально и были ориентированы на ПДУ ребром. Антенны располагались вертикально к плате ДУМ.

**Таблица 2. Результаты измерений**

| Точка отсчета | Расстояние, м | Тип антенны |            |          |
|---------------|---------------|-------------|------------|----------|
|               |               | рамочная    | спиральная | патч     |
| 1             | 352,85        | –           | –          | 83 (4%)  |
| 2             | 676,36        | –           | –          | 92 (20%) |
| 3             | 888,14        | –           | –          | –        |

*Примечание:* в скобках указан процент пропущенных пакетов.

Результаты испытания показывают, что наилучшую дальность система показывает при использовании покупной патч-антенны, но эти показатели недостаточны и находятся на грани возможной работы комплекса, поскольку в целом МК должен обеспечивать уверенную работу на расстоянии до 1000 м включительно. При использовании рамочной и спиральных антенны связь на отметке более чем 300 м установлена не была.



*Рис. 3.* Схема проведения испытаний, полученная со спутника

**Таблица 3. Результаты измерений**

| Точка отсчета | Расстояние, м | Тип антенны |            |            |
|---------------|---------------|-------------|------------|------------|
|               |               | рамочная    | спиральная | патч       |
| 1             | 352,85        | 103 (0 %)   | 88 (87 %)  | 103 (0 %)  |
| 2             | 676,36        | 102 (13 %)  | 80 (98 %)  | 105 (13 %) |
| 3             | 888,14        | 98 (5 %)    | –          | 107 (10 %) |
| 4             | 1040,00       | 94 (16 %)   | –          | 103 (12 %) |

*Примечание:* в скобках указан процент пропущенных пакетов

## **Испытания антенны волновой канал**

Условия эксперимента: к ПДУ подключена антенна типа волновой канал, к ДУМ попеременно подключались спиральная, рамочная и патч-антенны. Рамочная и патч-антенны располагались вертикально и были ориентированы на ПДУ ребром.

Результаты испытания показывают, что при использовании волнового канала со стороны ПДУ можно применить как рамочную, так и патч-антенны со стороны ДУМ. Дальность связи более чем соответствует поставленным требованиям, оставляя при этом некий запас. При этом пропуск пакетов не превышает 10 % на всей дистанции. Нижняя граница RSSI находится на уровне 80 единиц.

### **Заключение**

Факт установления связи может быть оценен с помощью показателя уровня принимаемого сигнала (RSSI), а дистанция связи может быть оценена с помощью систем GPS/ГЛОНАСС на мобильном устройстве с закреплением точек по координатам широты и долготы. По результатам испытаний можно сказать, что наиболее оптимальным вариантом считается использование волнового канала со стороны ПДУ и рамочной антенны – со стороны ДУМ. Связь была обеспечена на требуемом расстоянии. Патч-антенна оказалась более чувствительна к длине антенного кабеля. Хотя ее использование тоже допустимо. Было предсказуемо, что волной канал даст значительный выигрыш по дальности в сравнении с J-антенной, а его габариты не являются критичными для ПДУ.

### **Список литературы**

1. *Никитин, А.* Чип- и патч- спешат на помощь: ВЧ-компоненты Yageo для беспроводных систем. – URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2013/4/2-chip-i-patch-speshat-na-romoshh-vch-komponentyi-yageo-dlya-besprovodnyih-sistem> (дата обращения: 22.10.2018).
2. *Ричард, У.* Максимальная дальность связи по радиоканалу в системе: как этого добиться? – URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/11/2-maksimalnaya-dalnost-svyazi-po-radiokanalu-v-sisteme-kak-etogo-dobitsya> (дата обращения: 20.10.2018).
3. *Бакулев, П. А.* Радиолокационные системы : учебник для вузов. – М. : Радиотехника, 2004.

Кучина Т.Н., студент, e-mail: totorosoft@mail.ru

Данилова А.А., старший преподаватель, e-mail: aa\_danilova@mail.ru

ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т.Калашникова

## **Социальный проект «Твое время» – адаптация лиц, лишенных места проживания**

*В России существует серьезная проблема – растущее число бездомных людей. Но есть отзывчивые люди, которые хотят и готовы помочь в борьбе с этой проблемой. Необходимо наладить пути взаимосвязи, для того чтобы лица без определенного места жительства смогли адаптироваться под современные реалии своей страны.*

**Ключевые слова:** адаптация бездомных людей, среда оказания помощи.

На сегодняшний день существуют отрицательные устойчивые убеждения о бездомных людях, а именно, что это лица с пониженной социальной ответственностью, для которых главная цель в жизни – найти новую порцию алкоголя. Но на самом деле все обстоит совершенно иначе.

### **Стереотипы о бездомных людях [2]**

*1. Образование бездомных ничем не отличается от образования остального населения:* у 12 % опрошенных – высшее или неполное высшее образование, 44 % – среднее, 16 % – среднее профессиональное, 14 % – неоконченное среднее, 5 % – начальное, 9 % – без образования.

*2. Миф то, что все бездомные люди – алкоголики, испортившие свою жизнь:* люди начинают пить, уже оказавшись на улице, от безысходности и непонимания того, в какие двери стучаться.

*3. Не имеешь места проживания – не имеешь и прав:* человек, с потерей регистрации не может реализовать многие права: на труд, на получение медицинской помощи, пенсии, социальных льгот, избирательное право.

4. Почти все бездомные хотят вернуться к нормальной жизни: им нужно лишь немного помочь: оказаться на улице просто, а выбраться с нее самостоятельно практически невозможно.

### Основные причины бездомности [3, 4]

- 32 % – Трудовая миграция: человек лишается работы в чужом городе и остается без денег и жилья. Живя на улице, у них крадут деньги, телефон, документы, их избивают, и они не могут связаться с родственниками.
- 30 % – Семейные проблемы: из-за корыстных целей родственники способны выселить своих близких.
- 14 % – мошенничество/вымогательство: жертвами мошенников как правило становятся одинокие люди – выпускники детских домов, люди с психологическими нарушениями, пожилые.
- 7 % – осуждение к лишению свободы: родственники осужденных способны незаконно выселить своих близких. Или дом признается аварийным.
- 6 % – стала аварийной и сгорела квартира.
- 2 % – отсутствие полагающейся помощи от государства: не все выпускники детских домов получают жилье.
- 9 % – другие причины: взыскание жилья за долги, конфликт с соседями, выселение из служебного жилья и др.

Данная статистика представлена на рис. 1.

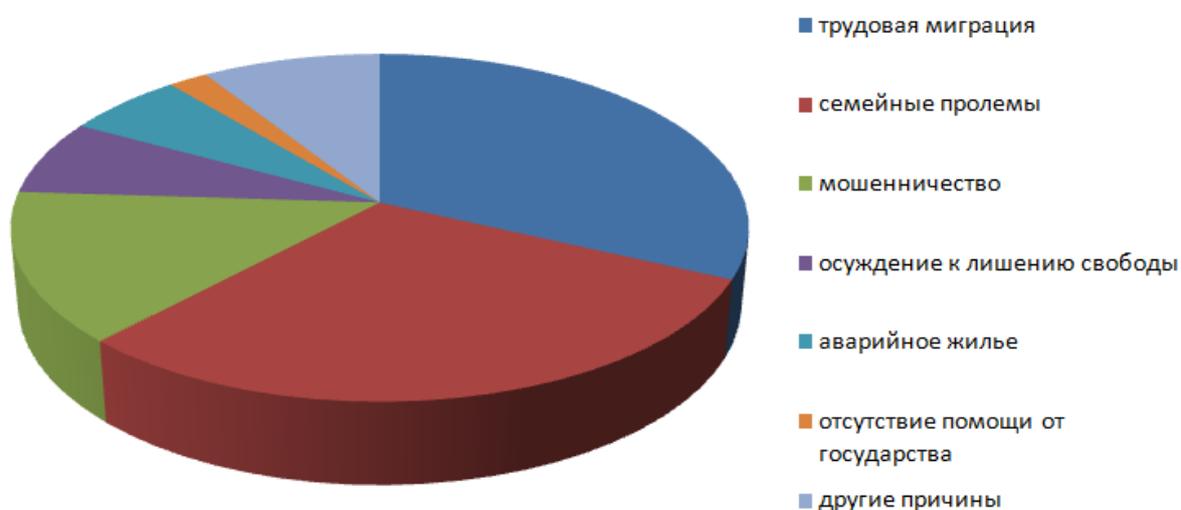


Рис. 1. Основные причины бездомности

## Получение помощи

На сегодняшний день государство не создало программу для адаптации бездомных людей к нормальной жизни. Данная проблема полностью ложится на плечи администраций городов нашей страны, но и этого бывает недостаточно. Ключевая проблема в том, что бездомные люди не знают всю необходимую информацию о том, где можно переночевать, поесть, получить медицинскую помощь. Но, к счастью, такие места и люди, готовые оказать помощь, есть в нашем городе, остается лишь донести всю информацию заинтересованным лицам.

Данный проект должен объединить всех тех, кто заинтересован в оказании помощи в едином информационном портале – сайт и адаптированное приложение, в которые будет выгружена вся информация о местах города, в которых можно получить:

- 1) *медицинскую помощь;*
- 2) *информацию о приютах обогрева;*
- 3) *бесплатную юридическую помощь:* это очень важно, ведь данные консультации позволят восстановить документы – полис, паспорт, благодаря которым увеличивается шанс начать жить нормальной жизнью;
- 4) *места ночлега и недолгосрочного пребывания;*
- 5) *услуги прачечной;*
- 6) *выход в Интернет, пользование порталом «Твое время», а также совершение звонков;*
- 7) *автоперевозки;*
- 8) *список мест, в которых можно оставить пожертвования: одежда, еда, продукты гигиены;*
- 9) *волонтерскую помощь:* чувство, что тебе хотят помочь, вселяет уверенность и позволяет двигаться дальше;
- 10) *информацию о тех местах, в которых бездомные смогут работать:* еще одна из наиболее важных частей для полноценной адаптации бездомных –

работа. Зачастую бездомные хотят работать, но по причине их внешнего вида и отсутствия документов сделать это невозможно.

Для ясности отображения данных они представлены в виде модели «сущность – связь». Такая модель позволяет проследить логику взаимосвязи элементов массива данных. Результат приведен на рис. 2 («сущность – связь»).

В первую очередь это позволит скооперироваться людям, оказывающим помощь или собирающимся ее сделать. Иными словами, на информационном портале будет раздел «Собираюсь помочь», где заинтересованные стороны смогут объединить усилия и сделать одно большое доброе дело, а также подсказать самим нуждающимся об этих местах.

Все услуги, перечисленные выше, которые нуждающиеся смогут получить – первая ступень в адаптации их к нормальной жизни [1].

Следует отметить, что каждому бездомному, пришедшему в каждый из пунктов их приема, будут выдаваться буклеты со всей необходимой информацией, которая сможет остаться с ними при себе по уходу из пунктов помощи – вторая ступень адаптации – знания о других пунктах помощи, выданные бездомным, позволят более уверенно адаптироваться к реалиям современной жизни.

### **Мероприятия для помощи бездомным и привлечения внимания к проекту «Твое время»**

- Раздача буклетов прохожим с целью популяризации.
- Расклейка по городу плакатов карт данной местности с радиусом в километр с точками оказания помощи бездомным.
- При оказанной помощи людей через сайт или приложение возможно получение скидки в каком-либо из мест нашего города.
- Проведение акций «Помоги Человеку».

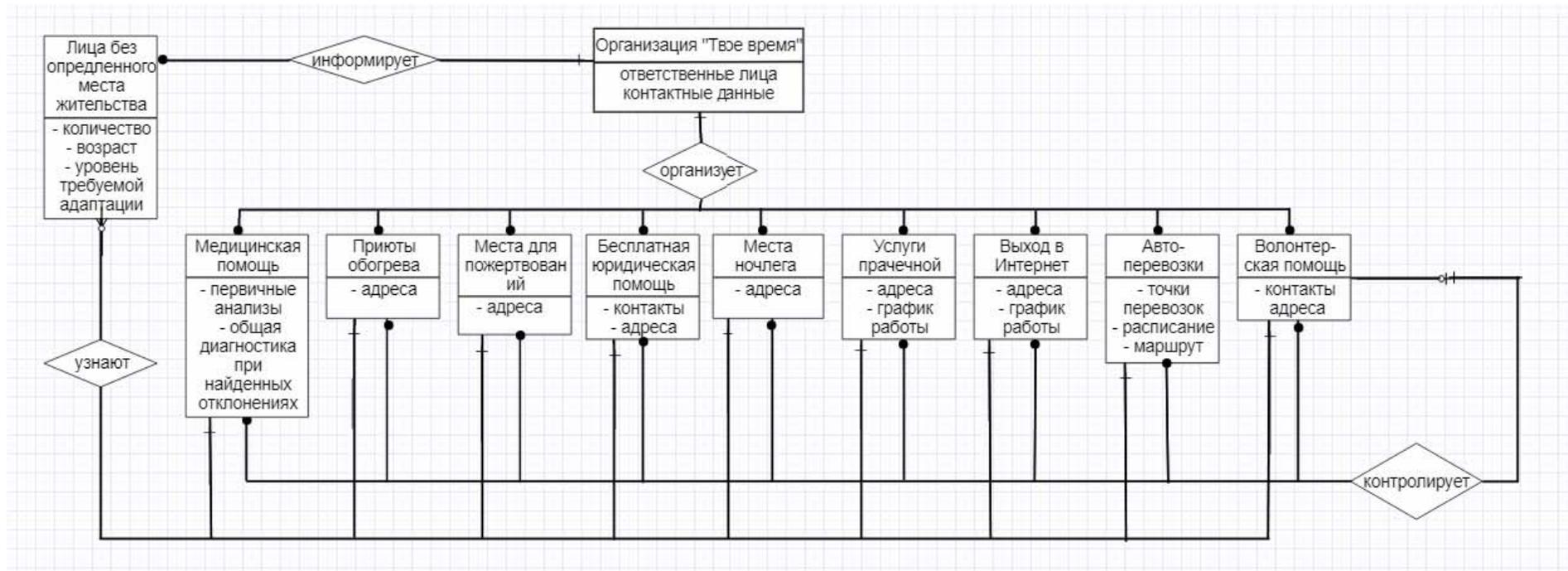


Рис. 2. «Сущность – связь»

## **Вывод**

При составлении данного проекта нельзя не отметить мотивационную сторону личности каждого из нас. Людям приятно совершать добрые поступки, это доказано учеными [5], и это и станет одной из сторон привлечения людей к данному проекту, ведь сделать доброе дело легко и это будет «Твое время».

## **Список литературы**

1. *Ховин, Н. Н.* Социальная адаптация лиц без определенного места жительства и занятий в условиях системы социальной защиты населения // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. – 2017. – № 1 (45). – С. 118–126.
2. *Халак, О. Н.* Социальная работа с бездомными в исправительном учреждении // Бездомность в современной России : материалы Всероссийской студенческой конференции. – СПб., 2009. – С. 8–14.
3. *Алексеева, Л. С.* Бездомные в России // Социологические исследования, 2003. – № 9. – С. 56–62.
4. *Антонова, Н. С.* К характеристике причин бездомности в современной России // Вестник Бурятского государственного университета. Сер. Психология, социальная работа. – 2009. – Вып. 5. – С. 220–224.
5. *Старостин, В. П.* К проблеме становления морального сознания // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-5. – С. 1287–1289. – URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31732> (дата обращения: 24.05.2018).

*Е. В. Лебедева*, студент, e-mail: katyalebedeva0230@gmail.com

*К. О. Иванова*, студент, e-mail: ivanova9g@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

### **Экологические лампы**

*В настоящее время большинство людей находятся в различном поиске. В поиске информации, материалов или ресурсов. В данной статье рассмотрен источник энергии, в качестве которого можно использовать практически любое растение. Получаемую энергию можно распространить по всему дому и использовать в качестве освещения, подзарядки электронных устройств.*

**Ключевые слова:** электроэнергия, растения, лапочки, система, потребление, фотосинтез.

Электроэнергия в современном обществе – совершенно неотъемлемая часть. Мы используем и тратим очень много электричества, за которое нам приходится платить немало денег. В нашем мире потребителей энергии много, и они играют огромную роль в нашей жизни. Сейчас для получения энергии в основном строят атомные электростанции и гидроэлектростанции. Других способов получения энергии не так уж и много. Чаще все ограничиваются ветрогенераторами и солнечными панелями. Россия относится к числу мировых энергетических держав, имеет много электростанций: тепловых, атомных, гидравлических. На одного человека используется более 33 % выработанной электроэнергии. Примерно столько же приходится на производство. Потребление электроэнергии непосредственно человеком – более трети [1].

Каждое государство имеет собственную систему производства и способ распределения электроэнергии. Электроэнергия – это товар, который невозможно хранить. Производство электроэнергии и распределение определяется

его потреблением. Задачи распределения и транспортировки электроэнергии решаются линиями электропередачи, распределительными устройствами и подстанциями. Линии электрических передач могут быть как кабельными, которые расположены под землей, так и воздушными – высокие столбы с проводами. В городе можно заметить трансформаторные подстанции: это небольшие сооружения, где высокое напряжение преобразуется в «привычные» 220 вольт. Как правило, все линии электропередач имеют высокое напряжение. Соответственно, эти линии имеют свою охранную зону, где находиться постороннему человеку не нужно [1].

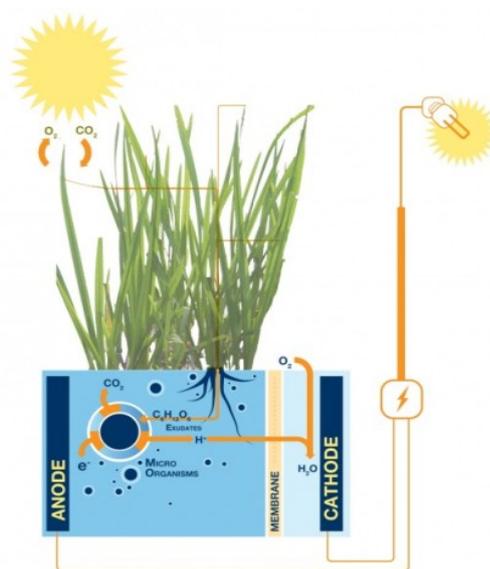
Современное общество настолько привыкло к благам цивилизации, что представить жизнь без электричества мы уже не можем. Приведем примеры основных потребителей электроэнергии в любом доме или квартире [1]:

- 1) холодильник: 240–320 кВт·ч в год;
- 2) стиральная машина (5 кг белья, 60 °С): 0,85–1,05 кВт·ч за цикл;
- 3) электроплита с духовкой: конфорка: 1–2,3 кВт·ч за час; духовка (200 °С): 0,9–1,1 кВт·ч за час;
- 4) кофеварка: 0,8–1,2 кВт·ч;
- 5) компьютер: 0,1–0,5 кВт·ч;
- 6) телевизор: 0,1–0,2 кВт·ч;
- 7) лампа накаливания: 60 кВт·ч;
- 8) энергосберегающая флуоресцентная лампа: 16 кВт·ч.

Электричество делает нашу жизнь наиболее комфортной и интересной. На данный момент известно, что некоторое количество энергии можно получить из растений. Исходя из этого мы задумались над тем, почему бы не использовать это в квартирах и домах, ведь почти у каждого есть какие-либо растения.

«Ecolamps» – это обычная светодиодная лампочка, энергию для которой получают из растений. Систему из таких лампочек можно использовать по всему дому. Это будет просто, экологично и намного сэкономит бюджет.

Внешне наша система представляет собой обычную систему из светодиодных лампочек (рисунок). Необычным можно назвать только способ получения электроэнергии. На самом деле земля в обыкновенном цветочном горшке есть недооцененный клад природного электричества. Надо только уметь его получить. Разлагаясь, части растений и микробов почвы образуют свободные электроны. Все это происходит в результате химических процессов окисления. «Уловив» из почвы электроны с помощью «проводочков»-электродов, можно переместить их в накопительные батареи. За счет этих накопительных батарей и будут работать наши лампочки [2].



Принцип получения энергии из растений

Растения высаживают в специальные контейнеры из пластика («аккумулятор»), площадь которых составляет одну четвертую квадратного метра. Ионоселективная мембрана делит контейнер на 2 части – аэробную-катодную и анаэробную-анодную. В результате фотосинтеза в растениях образуются некоторые виды сахаристых соединений, которые им необходимы для роста, а «остаток» этих соединений выводится через корни в почву. В почве сахаристые соединения вступают в реакцию с атмосферным кислородом. При этом бактерии, которые содержатся в почве, расщепляют сахара и выделяют при этом электроны и протоны. Электроды, которые погружены во влажную почву, захватывают эти электроны и производят ток. Получаемый при фотосинтезе электрический

ток питает светодиодные осветительные приборы, зарядки аккумуляторных батарей мобильных электронных устройств и точек Wi-Fi [1].

Если данная система «Ecolamps» станет популярной в нашей стране и постепенно ею начнут больше и больше пользоваться, то это решит некоторые важные проблемы. Во-первых, уменьшатся затраты денег как людей, так и страны в целом. Во-вторых, система «Ecolamps» поможет улучшить экологическую обстановку в мире.

### Список литературы

1. Электричество в современном мире. [Электронный ресурс]. – URL: [https://studwood.ru/1095741/matematika\\_himiya\\_fizika/primenenie\\_elektroenergii](https://studwood.ru/1095741/matematika_himiya_fizika/primenenie_elektroenergii) (дата обращения: 12.10.18).

2. Ученые научились получать электричество от растений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.epochtimes.com.ua/ru/novosti-nauki-i-tehniki/uchyonye-nauchilis-poluchat-elektrichestvo-ot-rasteniy-122336> (дата обращения 12.10.18)

3. Разработка зеленых источников электроэнергии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.epochtimes.com.ua/ru> (дата обращения: 12.10.18)

4. Тучкова, П. А. Биоиндикация с помощью растений / П. А. Тучкова, А. А. Данилова // Сборник материалов XXV Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. – Ижевск : ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. С. 169–173.

*С. А. Королев*, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: [stkj@mail.ru](mailto:stkj@mail.ru)

*О. С. Максимова*, магистрант, e-mail: [maksimova\\_oksana95@mail.ru](mailto:maksimova_oksana95@mail.ru)

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

## **Решение обратной задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя**

*В статье представлен подход к решению обратной задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя. Подход основан на использовании предварительно разработанной базы знаний, где аппроксиматор строится на основе многослойной нейронной сети. Оптимальная структура и параметры нейронной сети определяются с помощью генетического алгоритма.*

**Ключевые слова:** внешняя баллистика, обратная задача, нейронная сеть, генетический алгоритм.

### **Введение**

Решение задач внешней баллистики требует применения сложных математических моделей, учитывающих множество факторов, влияющих на снаряд в полете. Современные технологии извлечения знаний из данных позволяют применить методы для аппроксимации нелинейных зависимостей с большим количеством влияющих факторов. В статье представлен подход к решению обратной задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя, основанный на аппроксимации баллистических данных многослойной нейронной сетью.

### **Прямая и обратная задачи внешней баллистики**

Прямая задача внешней баллистики заключается в расчете траектории движения снаряда по заранее известным параметрам выстрела (характеристики снаряда, координаты подвижного носителя и направление стрельбы, скорость

подвижного носителя) и известном состоянии окружающей среды (давление, температурные и ветровые показатели). Математическая модель прямой задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя описана в [1, 2].

Прямая задачу внешней баллистики представляется в виде преобразования

$$\mathbf{L} = (\mathbf{P}_k, \tau_k) = \Phi(\mathbf{P}_0, \mathbf{V}_{\text{пн}}, \theta_c, \alpha_{\text{ц}}, \mathbf{A}), \quad (1)$$

где  $\mathbf{P}_k = (X_k, Y_k, Z_k)$  – конечная точка стрельбы (координаты цели);  $\tau_k$  – время полета снаряда;  $\mathbf{P}_0 = (X_0, Y_0, Z_0)$  – начальная точка стрельбы (координаты подвижного носителя);  $\mathbf{V}_{\text{пн}} = (V_x^{\text{пн}}, V_y^{\text{пн}}, V_z^{\text{пн}})$  – скорость подвижного носителя;  $\theta_c$  – угол стрельбы;  $\alpha_{\text{ц}}$  – дирекционный угол цели (рис. 1). Вектор  $\mathbf{A}$  содержит характеристики снаряда и орудия, геофизические и атмосферные данные.

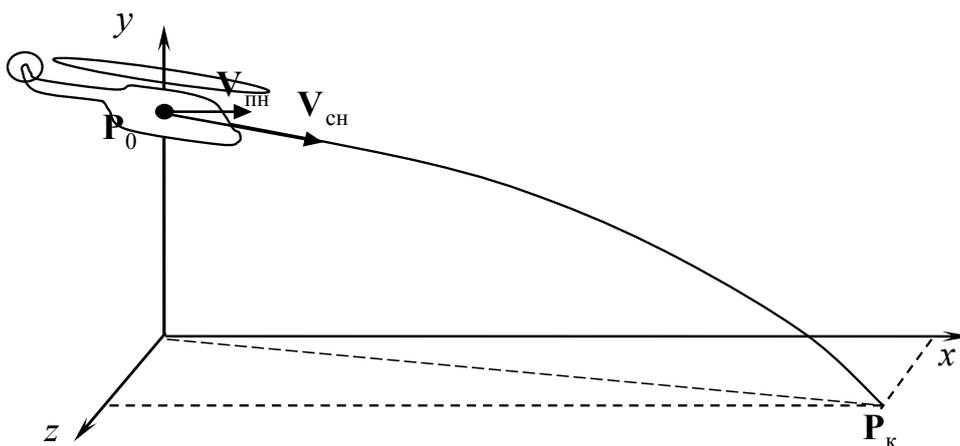


Рис. 1. Траектория движения снаряда при стрельбе с подвижного носителя

Для численного решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1) применяется метод Рунге – Кутты – Вернера 6-го порядка точности с контролем погрешности интегрирования [3].

Обратная задача внешней баллистики заключается в определении угла стрельбы  $\theta_c$  и дирекционного угла  $\alpha_{\text{ц}}$  по заданным координатам конечной цели и скорости ее перемещения. При этом необходимо учитывать аэродинамиче-

ское взаимодействие снаряда с воздухом атмосферы и геофизические условия стрельбы.

Обратная задача заключается в нахождении обратного преобразования

$$\mathbf{Q} = (\theta_c, \alpha_{ц}, \tau_k) = \Phi^{-1}(\mathbf{P}_0, \mathbf{V}_{пн}, \mathbf{P}_k, \mathbf{A}). \quad (2)$$

Здесь время  $\tau_k$  представляет собой сумму времени подготовки данных для решения обратной задачи и полета снаряда.

Существуют два подхода к решению обратной задачи внешней баллистики [4]. В первом подходе используется итерационный метод последовательных приближений на основе многократного решения прямой задачи (1). Данный алгоритм позволяет найти решение задачи для заданных условий стрельбы с любым требуемым уровнем точности. Однако время расчетов может быть неприемлемым при использовании в боевых условиях. Поэтому также рассмотрим второй способ решения обратной задачи на основе многослойной нейронной сети.

#### **Алгоритм решения обратной задачи внешней баллистики**

Рассмотрим решение обратной задачи внешней баллистики с использованием предварительно разработанной базы данных. Зная алгоритм численного решения задачи (1), можно провести серию расчетов стрельбы с подвижного носителя с изменением скорости вертолета  $\mathbf{V}_{пн}$  и высоты полета  $Y_0$ , а также параметров вектора  $\mathbf{A}$ : направления  $\alpha_w$  и скорости  $w$  ветра и др. Таким образом, получим следующую таблицу данных:

$$(\mathbf{x}^h; \mathbf{L}^h) = (\theta_c^h, \alpha_{ц}^h, \mathbf{V}_{пн}^h, Y_0^h, \alpha_w^h, w^h; X_k^h, Y_k^h, Z_k^h, \tau_k^h), \quad h = \overline{1, H}, \quad (3)$$

где  $H$  – объем выборки.

Алгоритм обучения нейронной сети методом обратного распространения ошибки представлен на рис. 2 [5].

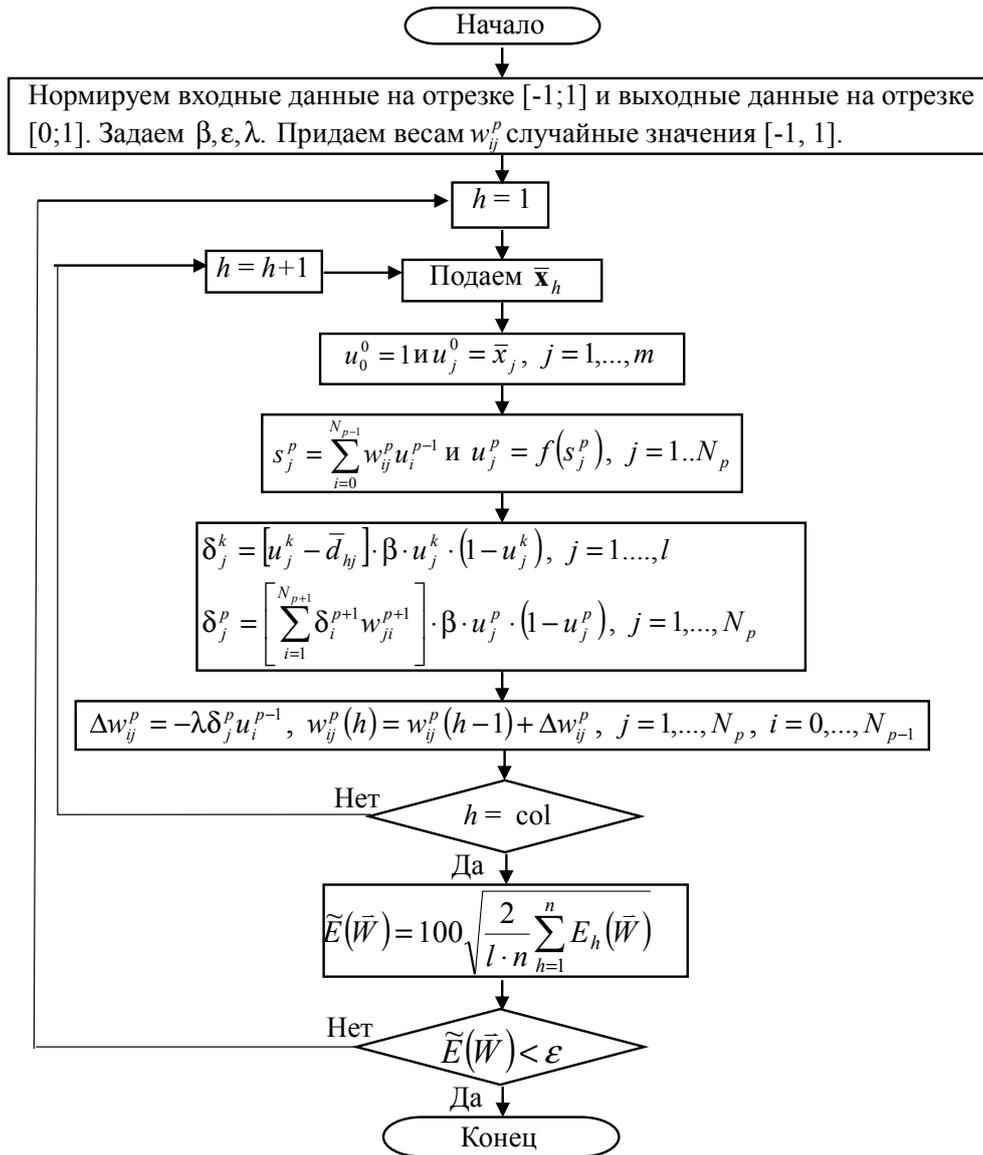


Рис. 2. Алгоритм метода обратного распространения ошибки

В качестве функции активации  $f(s)$  используется нелинейная сигмоидальная логистическая функция:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-\beta s}},$$

где  $\beta$  – параметр функции.

При решении обратной задачи внешней баллистики в качестве входного вектора нейронной сети выступает  $\mathbf{z}^0 = (X_{\text{к}}, Y_{\text{к}}, \mathbf{V}_{\text{пн}}, Y_0, \alpha_w, w)$ , аппроксимируемыми величинами являются  $\mathbf{z}^k = \{\theta_c, \alpha_{\text{ц}}, Z_{\text{к}}, \tau_{\text{к}}\}$ . Тем самым получаем зависимости:

$$\begin{aligned}\theta_c &= F_1(X_k, Y_k, V_{\text{пн}}, Y_0, \alpha_w, w), \\ \alpha_{\text{ц}} &= F_2(X_k, Y_k, V_{\text{пн}}, Y_0, \alpha_w, w),\end{aligned}\quad (5)$$

с помощью которых можно заменить решение обратной задачи.

Для определения оптимальной структуры многослойной нейронной сети (рис. 3) применялся эволюционный метод на основе генетического алгоритма [6, 7].

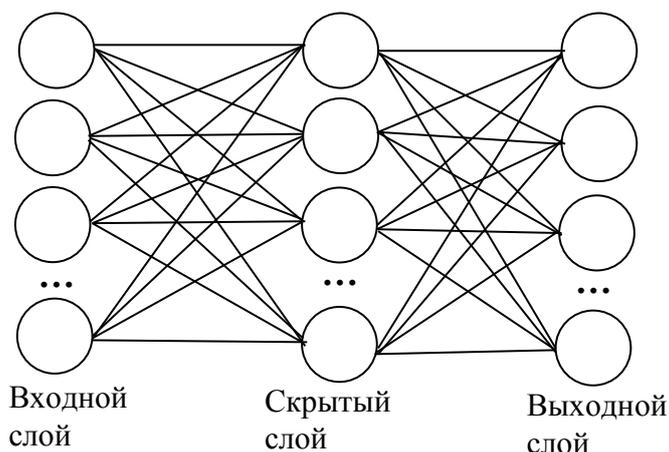


Рис. 3. Структура многослойной нейронной сети

Особь представляют собой векторы, длина которых равна количеству скрытых слоев в сети, а хромосомами является число нейронов на скрытых слоях сети. Например, особь (20, 15, 10) обозначает, что сеть состоит из 3 скрытых слоев с 20, 15, 10 нейронами в слое. Функцией приспособленности является время обучения сети методом обратного распространения ошибки до заданного уровня точности. В ходе работы генетического алгоритма происходит эволюция популяции путем применения таких операторов, как скрещивание, инверсия, мутация. На рис. 4 представлены принципы работы генетических операторов.



Рис. 4. Основные генетические операторы

Оптимальное количество слоев для многослойной нейронной сети является 3 слоя, с 16, 8, 8 нейронами в слое. Значения параметров алгоритма:  $\lambda=0,9$ ,  $\alpha=1$ ,  $\varepsilon=0,2$ . На основе разработанной нейронной сети решена обратная задача внешней баллистики. На рис. 5 представлен график сходимости алгоритма обучения нейронной сети.

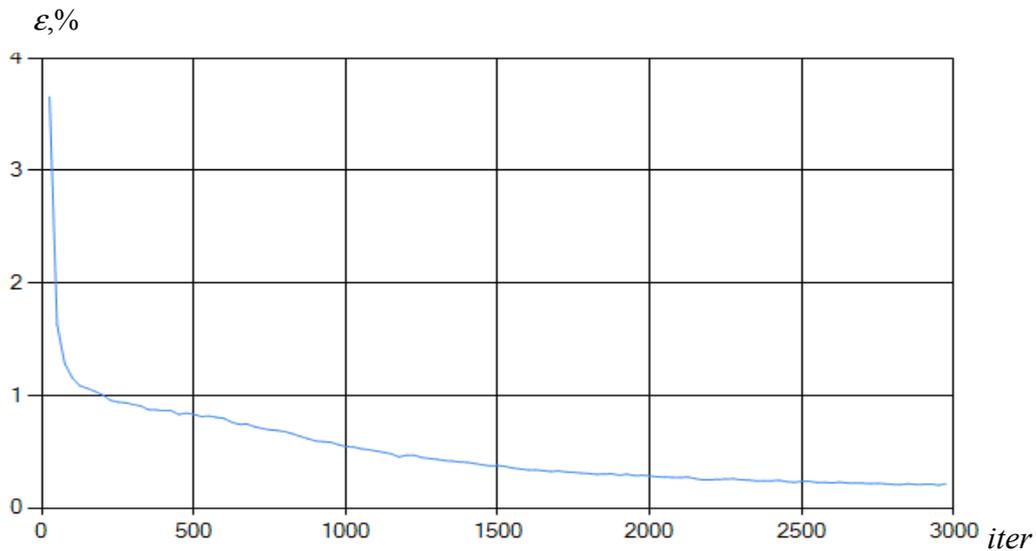


Рис. 5. График сходимости алгоритма

Сравнение расчетных значений угла стрельбы  $\theta_c$  и аппроксимированных по нейронной сети  $\theta_c^a$  показано на рис. 6.

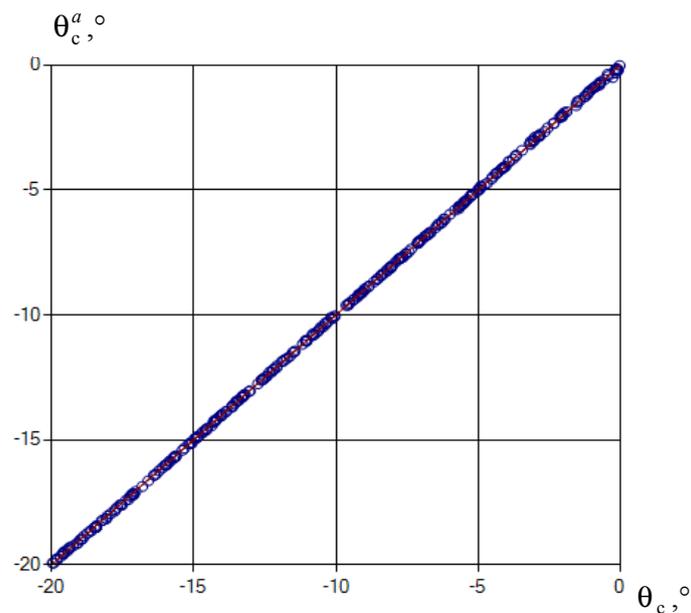


Рис. 6. Сравнение расчетных и аппроксимированных значений угла стрельбы

Построенная нейронная сеть для решения обратной задачи внешней баллистики показывает хорошее качество аппроксимации искомых величин. Для рассматриваемого варианта задачи ошибка аппроксимации не превышает 0,2 %. Алгоритм расчета выходного значения по построенной нейронной сети достаточно простой, следовательно, он может быть легко реализован в системе управления стрельбой.

### **Заключение**

Реализована нейронная модель для решения обратной задачи внешней баллистики. На основе генетического алгоритма определена оптимальная структура многослойной нейронной сети, минимизирующая время обучения. Создана трехслойная сеть с количеством нейронов в слоях (16, 8, 8) и обучена по данным 4000 наблюдений с точностью  $\varepsilon=0,2$  %. Разработанный алгоритм позволяет повысить оперативность решения обратной задачи внешней баллистики и может быть реализован в системе управления стрельбой с подвижного носителя.

### **Список литературы**

1. *Королев, С. А.* Методика расчета траектории движения снарядов и ракет при стрельбе с подвижного носителя / С. А. Королев, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 4 (31). – С. 13–18.
2. *Королев, С. А.* К вопросу о точности решения прямой задачи внешней баллистики / С. А. Королев, А. М. Липанов, И. Г. Русяк // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2017. – № 47. – С. 63–74. – DOI: 10.17223/19988621/47/7.
3. *Hairer E., Norsett S.P., Wanner G.* Solving Ordinary Differential Equations. Vol. 1. – Berlin: Springer-Verlag, 1991. – 528 p.
4. *Королев, С. А.* Разработка подходов к решению обратной задачи внешней баллистики в различных условиях применения / С. А. Королев, И. Г. Русяк, В. А. Тененев // Высокоэнергетические материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение (HEMs-2016) : сб. матер. XII Междунар. конф. – 2016. – С. 116–120.
5. *Круглов, В. В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

6. *Тенев, В. А.* Генетические алгоритмы в моделировании систем / В. А. Тенев, Б. А. Якимович. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 308 с.

7. *Касаткина, Е. В.* Опыт применения генетического алгоритма для структурной оптимизации нейронной сети / Е. В. Касаткина, Д. Д. Насридинова // Измерения, контроль и диагностика – 2014 : сб. матер. III Всеросс. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2014. – С. 22–27.

И. А. Пушкарев, аспирант, e-mail: pia10no@mail.ru

Т. А. Пушкарева, магистрант

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

## **Расчет вынужденных колебаний солнечной шестерни и сателлита в планетарной передаче с повышенной податливостью элементов**

*Из общей системы уравнений динамики планетарной передачи с девятью степенями свободы получены уравнения вынужденных колебаний солнечной шестерни и сателлита. Выведены формулы для определения собственных частот и амплитуд вынужденных колебаний системы «солнечная шестерня – сателлит». Построены амплитудно-частотные характеристики системы «солнечная шестерня – сателлит».*

**Ключевые слова:** планетарная передача, податливые элементы, вынужденные колебания.

Планетарные передачи широко используются во всех областях техники. К их достоинствам относятся большие передаточные числа, высокая нагрузочная способность и малые габариты [1–3]. Известны конструкции планетарных передач с повышенной податливостью элементов [1, 3, 4]. Податливость элементов дает возможность более равномерно распределить нагрузки в зубчатых зацеплениях передачи [3–5]. Между тем могут возникнуть нежелательные колебания, связанные со снижением жесткости элементов передачи [6–9], что необходимо проанализировать с целью выяснения параметрических зон появления этих колебаний, их влияния на прочность и долговечность передачи [10].

Математическая модель движения планетарного механизма с податливыми элементами (рис. 1) составляется с помощью уравнений Лагранжа второго рода. С учетом податливости элементов составлена система из девяти диффе-

ренциальных уравнений. В обобщенные координаты входят:  $\varphi_{2i}$  – относительный угол поворота сателлита  $2i$  вокруг центра масс  $C_{2i}$  относительно положения сателлита в установившемся движении (из-за податливости зубьев);  $\varphi_3$  – абсолютный угол поворота водила 3 в установившемся движении;  $\varphi_4$  – относительный угол поворота шестерни 4 относительно его установившегося движения (из-за податливости вала и зубьев) [9]. В обобщенных силах учитываются: момент двигателя  $M_{дв}$ ; момент сил трения  $M_{тр}$ ; момент, обусловленный кручением упругого вала солнечной шестерни  $M_4 = c_4\varphi_4$  с жесткостью на кручение  $c_4$ ; упругие силы в зацеплении колес 1, 2 и 4, определяемые через коэффициенты жесткости  $c_{12}$ ,  $c_{24}$  и перемещения точек контакта.

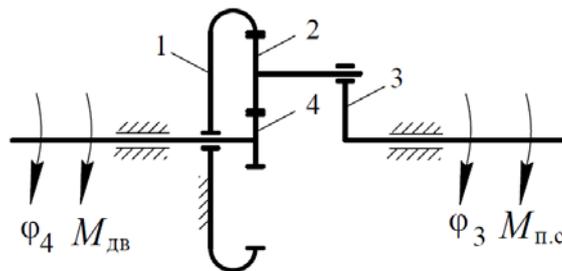


Рис. 1. Расчетная схема вынужденных колебаний планетарного механизма

Для составления уравнений вынужденных колебаний солнечной шестерни и сателлита из общей системы уравнений используются два уравнения, по обобщенным координатам  $\varphi_2$  и  $\varphi_4$ :

$$I_2 \ddot{\varphi}_3 i_{23} + I_2 \ddot{\varphi}_2 = -M_{тр} - c_{12} \varphi_2 r_2^2 + c_{24} (\varphi_4 r_4 - \varphi_2 r_2) r_2;$$

$$I_4 i_{43} \ddot{\varphi}_3 + I_4 \ddot{\varphi}_4 = M_{дв} - c_4 \varphi_4 - 3c_{24} (\varphi_4 r_4 - \varphi_2 r_2) r_4.$$

Здесь  $I_2$ ,  $I_4$  – моменты инерции сателлита и солнечной шестерни;  $r_2$ ,  $r_4$  – делительные радиусы сателлита и солнечной шестерни;  $i_{23}$ ,  $i_{43}$  – передаточные отношения.

Принимается, что  $\omega_3 = \dot{\varphi}_3 = \text{const}$ ,  $M_{\text{дв}} = M_0 \cos pt$ , где  $p$  – частота вынуждающей силы,  $M_{\text{тр}} = 0$ . Тогда, с учетом числа сателлитов,

$$\begin{aligned} 3I_2\ddot{\varphi}_2 + 3(c_{12} + c_{24})r_2^2\varphi_2 - 3c_{24}r_2r_4\varphi_4 &= 0; \\ I_4\ddot{\varphi}_4 - 3c_{24}r_2r_4\varphi_2 + (c_4 + 3c_{24}r_4^2)\varphi_4 &= M_0 \cos pt. \end{aligned}$$

Частное решение этой системы уравнений находится в виде:  $\varphi_2 = A_{\varphi_2} \cos pt$ ;  $\varphi_4 = A_{\varphi_4} \cos pt$ . Подставляя эти выражения в дифференциальные уравнения, получаем

$$\begin{aligned} A_{\varphi_2} &= \frac{M_0 b_{12}}{(b_{11} - a_{11}p^2)(b_{22} - a_{22}p^2) - b_{12}^2}; \\ A_{\varphi_4} &= -\frac{M_0(b_{11} - a_{11}p^2)}{(b_{11} - a_{11}p^2)(b_{22} - a_{22}p^2) - b_{12}^2}. \end{aligned}$$

где  $a_{11} = 3I_2$ ;  $a_{22} = I_4$ ;  $b_{11} = 3(c_{12} + c_{24})r_2^2$ ;  $b_{12} = -3c_{24}r_2r_4$ ;  $b_{22} = c_4 + 3c_{24}r_4^2$ .

Учитывая связь между геометрическими и кинематическими параметрами передачи, выразим массы и моменты инерции звеньев через массу солнечной шестерни  $m_4$  [10]:

$$\begin{aligned} m_2 &= k_2 \pi r r_2^2 b_w = k_2 m_4 r_2^2 / r_4^2 = k_2 m_4 (0,5i - 1)^2; \quad m_4 = \pi r r_4^2 b_w; \\ I_2 &= \frac{m_2 r_2^2}{2} = \frac{k_2 m_4 r_2^2 r_2^2}{2 r_4^2} = \frac{k_2 m_4 r_2^4 r_4^2}{2 r_4^4} = \frac{k_2 m_4 (0,5i - 1)^4 r_4^2}{2}; \quad I_4 = \frac{m_4 r_4^2}{2}. \end{aligned}$$

Здесь  $\rho$  – плотность материала звеньев передачи;  $b_w$  – ширина венцов колес;  $k_2$  – коэффициент заполнения сателлита;  $i$  – передаточное отношение механизма;  $a_w = r_4 + r_2$  – межосевое расстояние.

Принимается, что  $c_{12} = c_{24} = 0,075 E b_w$ ;  $c_4 = \frac{G J_p}{l}$  – жесткость вала на кручение, где  $G = E / [2(1 + \mu)]$  – модуль упругости второго рода;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $J_p = \pi d^4 / 32$  – полярный момент инерции (для сплошного вала). Момент  $M_0 = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; частота  $p = 100 \text{ рад/с}$ ,  $\bar{b}_w = b_w / l$ ,  $b_w = \bar{b}_w l$ ,  $\bar{b}_w = 2$ ,  $b_w = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ м}$  [10].

Тогда  $A_{\varphi_2} = -5,44 \cdot 10^{-5}$  м;  $A_{\varphi_4} = -3,0 \cdot 10^{-7}$  м.

Знаменатель в выражениях для амплитуд  $A_{\varphi_2}$  и  $A_{\varphi_4}$  определяет собственные частоты системы с двумя степенями свободы, которые находятся из векового уравнения:  $a_{11}a_{22}k^4 - (b_{11}a_{22} + a_{11}b_{22})k^2 + (b_{11}b_{22} - b_{12}^2) = 0$ .

Используя найденные ранее числа,  $k_1 = 7533 \text{ с}^{-1}$ ,  $k_2 = 19273 \text{ с}^{-1}$ .

Зная собственные частоты, знаменатель в формулах для  $A_{\varphi_2}$  и  $A_{\varphi_4}$  можно записать в следующем виде:

$$A_{\varphi_2} = \frac{M_0 b_{12}}{a_{11} a_{22} (p^2 - k_1^2)(p^2 - k_2^2)} = \frac{-1,9 \cdot 10^{12}}{(p^2 - 56756861)(p^2 - 371476262)};$$

$$A_{\varphi_4} = -\frac{M_0 (b_{11} - a_{11} p^2)}{a_{11} a_{22} (p^2 - k_1^2)(p^2 - k_2^2)} = -\frac{2098933 \cdot (5511240 - 0,0185 p^2)}{(p^2 - 56756861)(p^2 - 371476262)}.$$

Амплитудно-частотные характеристики, построенные по этим формулам, приведены на рис. 2.

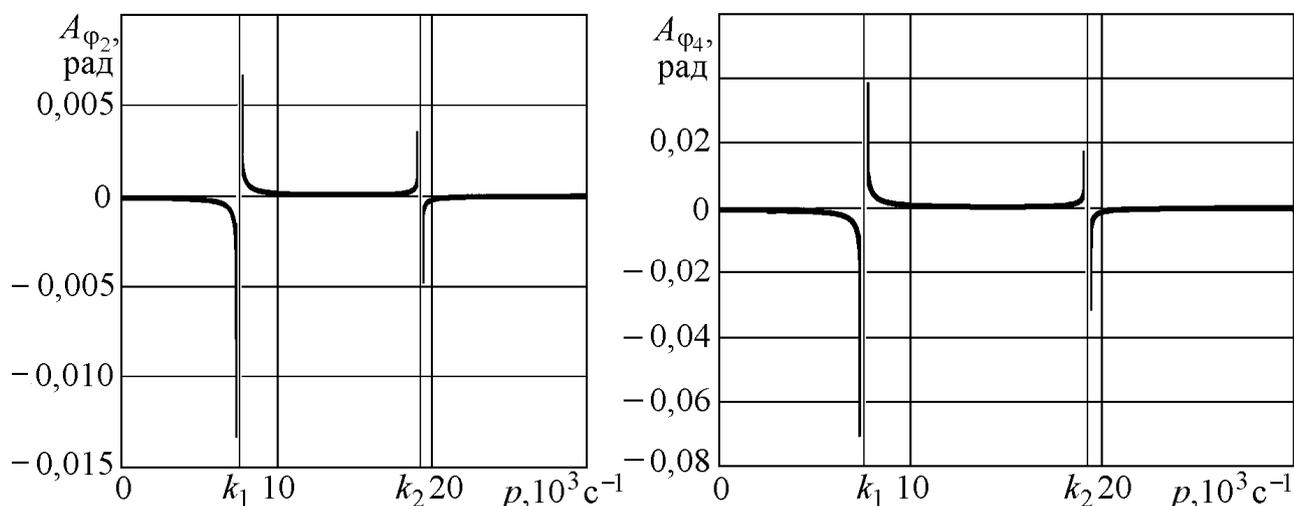


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики системы «солнечная шестерня – спутник»

Таким образом, собственные частоты колебаний системы «солнечная шестерня – спутник» и формулы для амплитуд вынужденных колебаний этой системы определены через массовые, геометрические и силовые параметры

планетарной передачи с повышенной податливостью элементов. Амплитудно-частотные характеристики этих колебаний показывают зоны допустимых значений частот вынуждающей силы. При принятых значениях массо-геометрических характеристик солнечной шестерни и сателлита резонанс в системе не наступает.

Полученные результаты позволяют аргументированно выбирать параметры планетарных передач с элементами повышенной податливости с учетом равновесного отклика системы на вынужденные колебания.

### Список литературы

1. *Плеханов, Ф. И.* Теоретические основы проектирования и принципы конструирования нетрадиционных планетарных передач типа 3К : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ижевский гос. техн. ун-т. Ижевск, 1996. – 34 с.

2. *Trubachev E., Savelyeva T., Pushkareva T.* Practice of design and production of worm gears with localized contact // *Advanced Gear Engineering, Mechanisms and Machine Science*, V. 51 / Goldfarb V., Trubachev E., Barmina N. (Eds). – Springer International Publishing, 2018. Pp. 327-343.

3. Распределение нагрузки в зацеплениях колес рациональных конструкций планетарных передач и его влияние на технико-экономические показатели привода / Ф. И. Плеханов, Е. Ф. Вычужанина, И. А. Пушкарев, А. С. Сунцов // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. – 2017. – № 2. – С. 29–35.

4. *Plekhanov F.I., Kuznetsov V.S.* Deformability of elements of a planetary gear transmission // *Russian Engineering research*. 2010. Vol. 30. No. 6. Pp. 557-60.

5. *Плеханов, Ф. И.* Влияние деформативности центральной шестерни и осей сателлитов планетарной передачи на распределение нагрузки в зубчатых зацеплениях // *Вестник машиностроения*. – 2015. – № 4. – С. 16–19.

6. *Пушкарев, А. Э.* Динамический синтез ветроустановки, работающей в области малых скоростных потоков / А. Э. Пушкарев, Л. А. Пушкарева // *Современное машиностроение. Наука и образование*. – 2011. – № 1. – С. 343–347.

7. *Пушкарев, И. А.* Собственные частоты планетарных передач с элементами повышенной податливости / И. А. Пушкарев, Т. А. Пушкарева // *Фотинские чтения*. Тема выпуска: сборник материалов Пятой Международной научно-практической

конференции, 2018 г., г. Ижевск. – 2018. – Т. 1 (9). – Ижевск : Проект, 2018. – С. 230–233.

8. *Пушкарев, И. А.* Проектирование и расчет планетарных передач с повышенной нагрузочной способностью и плавностью работы / И. А. Пушкарев, Т. А. Пушкарева // Выставка инноваций – 2018 (весенняя сессия) : сборник материалов XXV Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, 25 апреля 2018 г., г. Ижевск / отв. ред. А. П. Тюрин. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – С. 131–134.

9. *Пушкарев, И. А.* Моделирование динамики планетарных передач с элементами повышенной податливости // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 43–48.

10. *Plekhanov F., Pushkarev A., Pushkarev I.* Influence of layout features and parameters of planetary gear on its dynamics and strength characteristics // Advanced Gear Engineering, Mechanisms and Machine Science. Vol. 51 / Goldfarb V., Trubachev E., Barmina N. (Eds). Springer International Publishing, 2018. Pp. 481-494.

К. А. Сухомесова, студент, e-mail: KreSty98@mail.ru;

М. А. Святский, канд. техн. наук, доц.

ВФ ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

### **Многотопливный двигатель аксиального типа**

*Одним из путей повышения удельной мощности двигателя внутреннего сгорания является осуществление работы двухтактного цикла. Под аксиальным двигателем понимается двигатель, где оси цилиндров расположены параллельно оси выходного вала отбора мощности. В аксиальных двигателях используется цикл Стирлинга. Цикл включает два последовательных термодинамических процесса сгорания топлива, это должно привести к более полному и быстрому сгоранию топлива.*

**Ключевые слова:** аксиальный двигатель, аксиально-поршневой насос, двигатель внутреннего сгорания, цикл Стирлинга, термодинамические циклы.

В век бурного развития машиностроения перед разработчиками всегда ставилась задача сделать любой двигатель более мощным и экономичным. Увеличение мощности, в первую очередь, достигали за счет увеличения объема камеры сгорания, увеличивая диаметры поршней, их количество и ход, что не всегда приводило к ожидаемым положительным результатам. Например, увеличение количества цилиндров или увеличение длины камеры (увеличение хода поршня за счет удлинения шатунов) ведет к увеличению результирующего объема двигателя и его веса, но не делает его экономичным.

Одним из путей повышения удельной мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является осуществление двухтактного цикла работы.

Под аксиальным двигателем понимается двигатель, где оси цилиндров расположены параллельно оси выходного вала отбора мощности. Интерес к аксиальным двигателям возник еще в начале XX века [1]. В 1909 г. был получен

первый патент на аксиальный двигатель, разработчиком которого стал инженер У. Г. Макомбер. Схема и опытный образец такого ДВС представлен на рис. 1. Русскими инженерами А. Микулиным и Б. Стечкиным был разработан и изготовлен в 1915 г. двигатель АМБС-1 [2]. Это бензиновый авиационный двухтактный двигатель с силовым механизмом преобразования, выполненным в виде «косая шайба». Однако несовершенство технологии изготовления не позволило развить далее конструкцию двигателя.

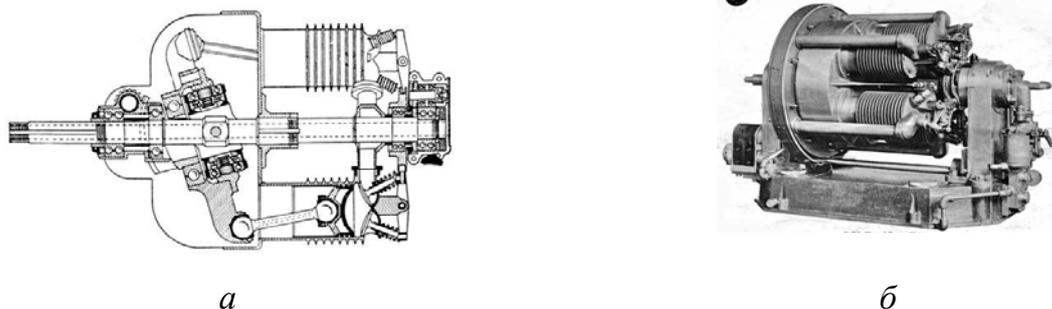


Рис. 1. Общая схема (а) и фотография (б) пятицилиндрового двигателя Макомбера

В аксиальных двигателях используется цикл Стирлинга, который по термодинамической эффективности не уступает циклу Карно и даже обладает преимуществом. Дело в том, что цикл Карно состоит из мало отличающихся между собой изотерм и адиабат, и его практическая реализация малоперспективна.

Цикл, включающий два последовательных термодинамических процесса сгорания топлива – сначала по изохоре, а затем по изобаре, называют циклом Сабатэ – Тринклера. Пожалуй, это название цикла тоже можно оспорить, поскольку французский инженер Сабатэ (Сабатье) запатентовал в 1898 году не цикл, а механическое устройство (форсунку с распылителем), которое должно было подавать жидкое топливо непосредственно в цилиндры в два этапа. По замыслу Сабатэ это должно привести к более полному и быстрому сгоранию топлива.

В начале прошлого века российский инженер Густав Тринклер изобрел принципиально новый двигатель, опытный образец которого был изготовлен в 1902 году на Путиловском заводе. Снятая с работающего двигателя индикаторная диаграмма показала, что сгорание топлива в нем происходило по смешан-

ному циклу – сначала по изохоре (при постоянном объеме), а затем по изобаре (при постоянном давлении).

Таким образом, первым в мире двигателем с самовоспламенением, работающим по циклу смешанного сгорания, был двигатель конструкции Г. Тринклера, изготовленный в России.

Существуют следующие принципы оценки крутящего момента через термодинамические процессы для ДВС различного класса. Термодинамические процессы в цикле Сабатэ – Тринклера осуществляется в следующей последовательности (см. диаграмму на рис. 2).

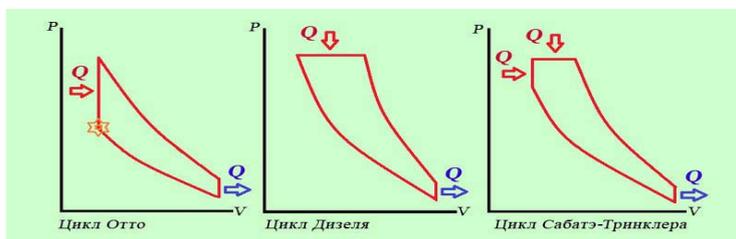


Рис. 2. Диаграмма P-V-идеальных циклов тепловых двигателей

Применялись аксиальные ДВС в торпедах в 40–50-х годах [3]. Использование барабанной компоновки в ДВПТ весьма перспективно, т. к. это позволяет наиболее эффективно скомпоновать элементы двигателя и использовать его объем.

Многотопливный дизельный ДВС нестандартной конструкции сочетает в себе несколько нестандартных инженерных решений: двухтактный рабочий процесс; встречное движение поршней в цилиндрах; параллельное расположение поршней предусматривает аксиальную передачу крутящего момента через косую втулку или шайбу; возможность регулирования степени сжатия от 7 до 20 позволяет использовать различные топливные смеси; модульность конструкции (совмещение нескольких блоков цилиндров) позволяет наращивать мощность. Реализация этих свойств в одной конструкции позволяет повысить показатели мощности до приемлемых значений, дает выигрыш в массогабаритных параметрах и экономии топлива (рис. 3).

Для реализации перечисленных показателей в аксиальных ДВС можно предложить проведение следующих этапов НИОКР:

1. Сократить массу и габариты на 30...40 %, удвоить цилиндковую мощность без увеличения скорости движения поршней.

2. Снизить вибрации двигателя, т. к. поршни в цилиндре совершают противоположное движение, и вращающиеся массы уравниваются противовесями.

3. Снизить механические потери, т. к. штоки-шатунны отклоняются от оси цилиндра на угол менее  $1^\circ$ , т. е. отсутствует боковая составляющая сила, действующая на поршень от газовых сил (потери в Ц.П.Г. составляют 40...50 % от общих механических потерь).

4. Снизить тепловые потери ввиду отсутствия блока головок для поршней.

5. Организовать изохорный подвод тепла, т. е. повысить термический КПД.

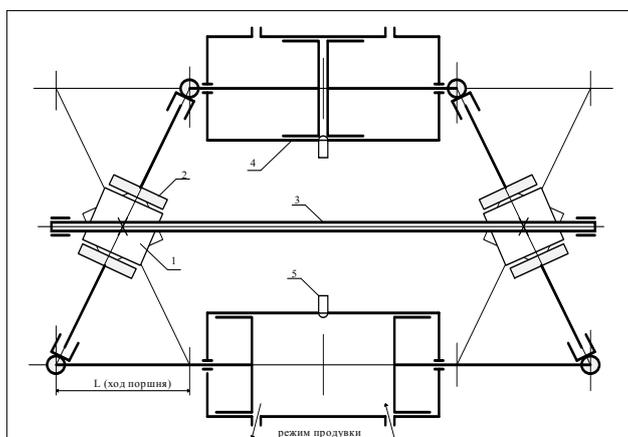
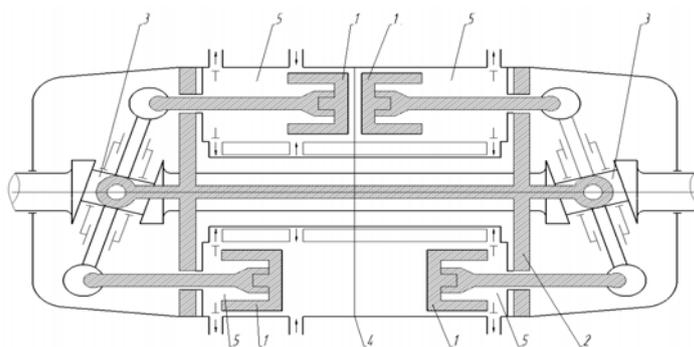


Рис. 3. Кинематическая схема двигателя аксиального типа: 1 – косая втулка;

2 – цапфа; 3 – вал отбора мощности; 4 – цилиндро-поршневая группа; 5 – форсунка

В области современного двигателестроения применяются технологии все более совершенные и наиболее экономически выгодные по сравнению с прошлым веком. Однако конструктивные особенности двигателей, применяемые в массовом производстве, с того времени почти не изменились.

Повсеместно применяемые конструкции двигателей в автомобилестроении – четырехтактные рядные 4- и 6-цилиндровые, а также V-образные 6- и 8-цилиндровые. (Исключение составляют роторные ДВС.) В области дизельных генераторных станций широко распространены двигатели V-12. Автомобильные ДВС, следуя тренду и потребностям рынка, постоянно совершенствуются технологически. Повышается экономичность, мощность, применяются новые металлы, сплавы и керамика, зачастую в жертву приносится ресурс и надежность. В дизель-генераторах, наоборот, ресурс играет не последнюю роль, находясь на равных с экономичностью. Каждый из производителей занимает свою нишу на рынке, и переходить на новые типы и конструкции ДВС для них не всегда экономически невыгодно. На сегодняшний день известно множество конструктивных аналогов, которые по некоторым параметрам превосходят широко применяемые ДВС. Заслуживают внимания конструкции с двухтактным рабочим процессом, позволяющим увеличить мощность в 1,5 раза по отношению к тому же объему четырехтактного ДВС. Конструкции ДВС со встречным движением поршней имеют общую камеру сгорания, где мощность снимается с одного или более поршней. Такая компоновка обеспечивает прямоточную продувку – самую совершенную для двухтактного рабочего процесса (рис. 4, 5).



*Рис. 4.* Схема компоновки ДВС: 1 – поршневая группа; 2 – жесткий каркас; 3 – аксиальный механизм; 4 – ось симметрии; 5 – рабочее пространство цилиндра



Рис. 5. Пример двух цилиндров дизельного аксиального ДВС модели АДВИ

Предлагаемый аксиально-поршневой ДВС двухтактного цикла может быть использован в различных энергетических установках, как стационарных, так и передвижных. Вследствие малых размеров поперечного сечения и относительно малого веса аксиально-поршневые ДВС могут применяться в качестве силовой установки для катеров, насосов и компрессоров, сварочных постов, вспомогательного транспорта (погрузчик, транспортер).

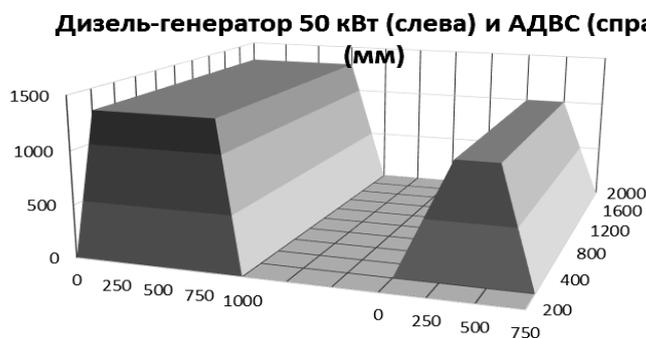
Из практики двигателестроения известно, что в двухтактном ДВС при равном количестве цилиндров и числе оборотов коленчатого вала – рабочие ходы происходят вдвое чаще, литровая мощность двухтактных двигателей выше, чем четырехтактных – теоретически в 2 раза, на практике в 1,4–1,7 раза (таблица).

#### Сравнение АДВС с доступными рыночными аналогами ДВС

| Дизельный двигатель  | Мощность, кВт | Количество цилиндров | Масса, кг | Удельная мощность, кВт/кг |
|----------------------|---------------|----------------------|-----------|---------------------------|
| Беларусь «ММЗ Д-243» | 77            | 4                    | 460       | 0,167                     |
| Швеция «TAD530GE»    | 83            | 4                    | 575       | 0,144                     |
| Россия «КАМАЗ 742»   | 93            | V8                   | 854       | 0,109                     |
| «АДВС»               | 80*           | 2                    | 160*      | 0,5*                      |

\* – теоретические данные.

Приведенный двухтактный ДВС выигрывает у четырехтактного за счет более простой конструкции, которая позволяет снизить габаритные размеры и вес.



*Рис. 6.* Сравнение габаритных размеров дизельного генератора (50 кВт) и теоретических данных АДВС

### Список литературы

1. Патент РФ №2313675. Аксиально-поршневой двигатель / Э. Л. Топалов, Н. И. Куликова, БИ, 2007, № 36.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей : учеб. для вузов / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Райков, И. Я. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания : учеб. для вузов / И. Я. Райков, Г. Н. Рытвинский. – М. : Высш. шк., 1970. – 432 с.

## **Использование языка ДРАКОН для решения задач системного анализа в сфере информационных технологий на промышленном предприятии**

*В данной статье рассматриваются основные понятия и некоторые особенности алгоритмического языка ДРАКОН. Приведены варианты использования системным аналитиком данного языка на промышленном предприятии, а именно при моделировании бизнес-процессов, объяснении программисту структуры и логики программы, обучении пользователей и управлении проектами.*

**Ключевые слова:** язык ДРАКОН, ДРАКОН-схема, нотация, системный аналитик.

В ходе профессиональной деятельности, связанной с информационными технологиями и функционированием информационных систем, системный аналитик выполняет ряд задач, в том числе описание бизнес-процессов, написание технического задания, обучение пользователей, управление проектами. Повысить эффективность решения данных задач способен язык ДРАКОН.

Язык ДРАКОН является визуальным русскоязычным алгоритмическим языком, который находит все большее применение. В настоящее время он используется в медицине, программировании, ракетно-космической области, для обучения специалистов, при повышении квалификации и в других сферах. ДРАКОН-схемы представляют собой улучшенные блок-схемы, построение которых происходит с учетом когнитивной эргономики, т. е. осуществляется сочетание математической строгости и понятности и обеспечивается удобство восприятия информации человеком.

Алфавит языка ДРАКОН [1] представлен графическими буквами (графо-элементами), называемыми иконами. Макроикона – это объединение нескольких икон. Описание алгоритма осуществляется посредством соединения соответствующих икон и макроикон. Иконы, макроиконы или их совокупность, имеющие один вход сверху и один выход снизу, называется шампуром. Шампур соединяет заголовок с концом одной вертикальной линией, что позволяет сделать схему упорядоченной (исключаются изломы, пересечения и обрывы линий). Различают две структуры алгоритмов: примитив, являющийся одиночным шампуром, последовательно объединяющим шаги алгоритма, и силуэт. Путем добавления шампуров, отражающих смысловые части алгоритма, структура примитив преобразуется в силуэт. В этом случае дополнительные шампуры будут являться ветками. Входом ветки является икона с указанием ее имени, а выходом – адрес следующей ветки (аналог оператора goto).

На производственном предприятии блок-схемы ДРАКОН системный аналитик может использовать для различных целей.

ДРАКОН может быть использован для описания бизнес-процессов, т. е. в качестве нотации графического моделирования, наряду с такими нотациями, как IDEFO, UML, EPC и др. Подтверждается это тем, что ДРАКОН-схемы также обеспечивают возможность проведения декомпозиции, указания входов, выходов, исполнителей процесса и регулирующих деятельность документов. На рис. 1 представлена графическая модель бизнес-процесса производства с точки зрения обработки заявки клиента в рамках быстро реагирующего производства. Как показывает рис. 1, имена веток соответствуют названиям подпроцессов, а адреса веток указывают на следующий в последовательности подпроцесс. Принцип «чем правее, тем позже» также отражает последовательность подпроцессов.

Разнообразие икон для отображения циклов позволяет использовать ДРАКОН для написания программ [2]. Существует большое количество гибридных языков программирования, представляющих собой объединение языка ДРАКОН с такими популярными языками программирования, как Java, Python, C++ и др.

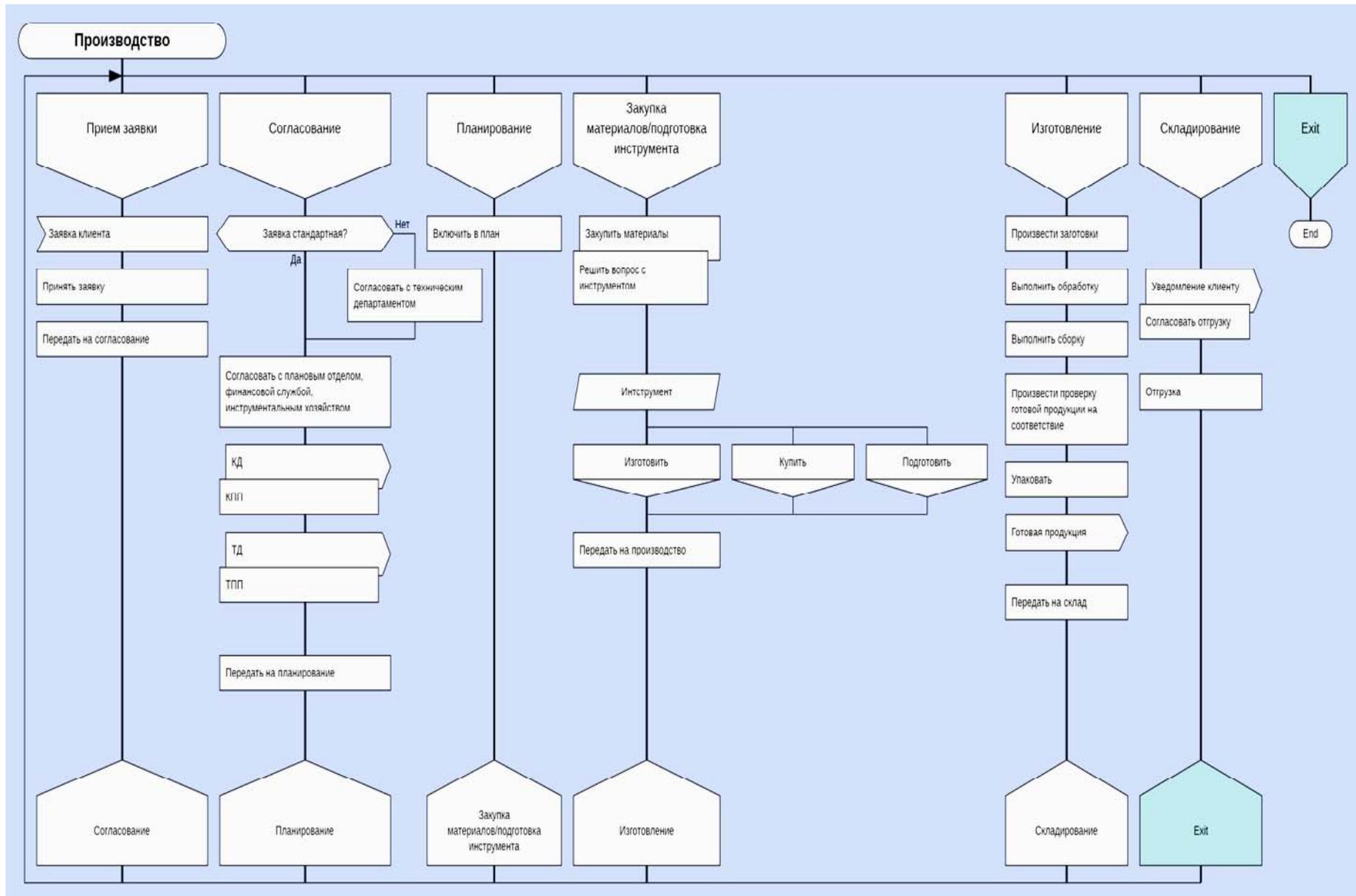


Рис. 1. ДРАКОН-схема бизнес-процесса производства

Программирование на гибридном языке происходит следующим образом: создается каркас ДРАКОН-схемы, внутрь икон помещаются небольшие фрагменты кода на определенном языке программирования, затем ДРАКОН-схема преобразуется программой-транслятором в текстовый файл с исходным кодом. Преимущество заключается в том, что обеспечивается автоматическое преобразование алгоритма в машинный код. Системный аналитик выстраивает логику программы (рис. 2), а программист заполняет иконы операторами на соответствующем языке программирования. Программа, представленная таким способом, становится более удобной для чтения по сравнению со сплошным кодом, что позволяет облегчить взаимодействие между системным аналитиком и программистом, а также между разными программистами. Это представляется особенно важным, если учесть тот факт, что программист, который написал программу, может уйти с предприятия, и, чтобы другим программистам разобраться в его программе, во многих случаях могут потребоваться большие усилия.

Другим вариантом использования ДРАКОН-схем является обучение сотрудников. Применение алгоритмов, описанных на языке ДРАКОН в медицине, где ценой ошибки может быть человеческая жизнь, говорит о том, что его можно использовать для описания последовательности действий в сферах, характеризующихся принятием ответственных решений. Описание последовательности необходимых операций рабочего (рис. 3), объяснение новому сотруднику структуры организации и принципов ее функционирования, проведение обучения работе в новой системе и т. д. – все это возможно реализовать с помощью ДРАКОНа. Представленный на рис. 3 алгоритм работы станка помогает понять принцип его работы и отражает всю необходимую для сотрудника информацию, в том числе ограничение технологического процесса по времени.

ДРАКОН также хорошо подходит для использования при управлении проектами и итеративной разработке ПО, особенно в рамках методологии Scrum. Из всех подходов к разработке систем, на первый взгляд, scrum наиболее хаотичный [3]. Чтобы контролировать некоторый внутренне присущий хаос, scrum-разработка ориентируется на несколько ключевых методов.

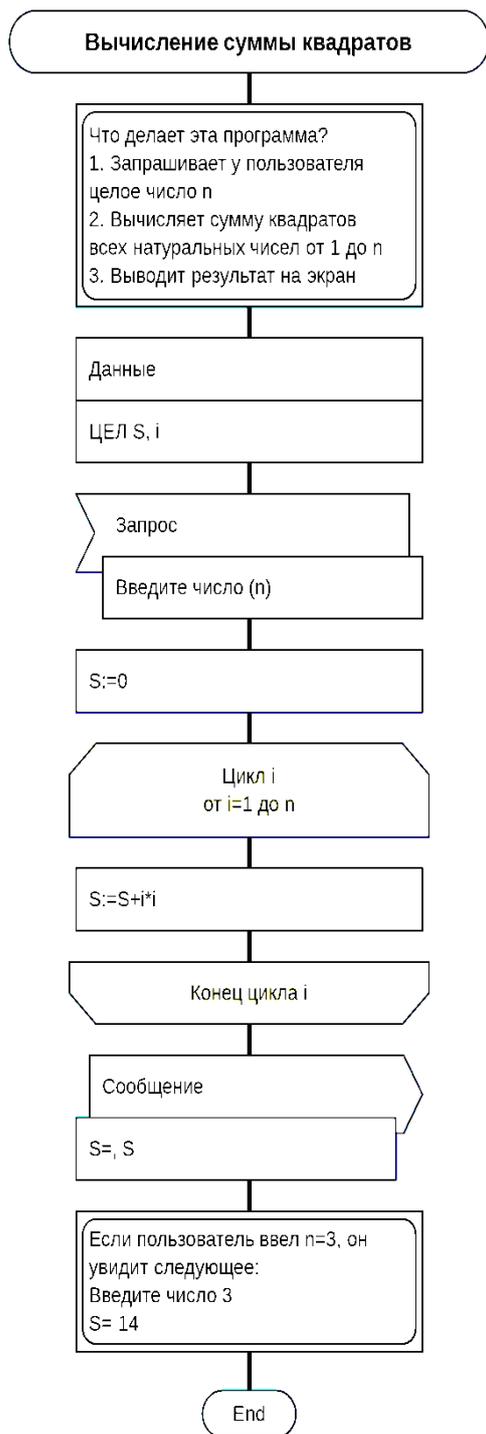


Рис. 2. Логическая структура вычислительной программы на языке ДРАКОН

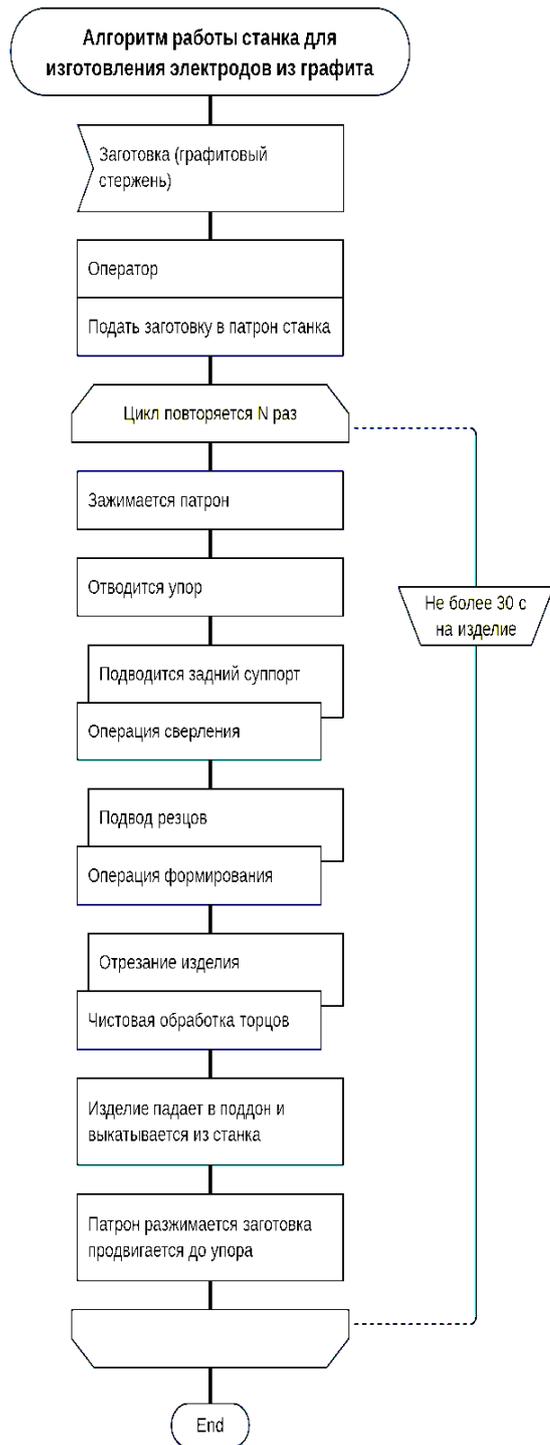


Рис. 3. ДРАКОН-схема принципа работы станка

Команды организуются и управляются самостоятельно. В отличие от других подходов, у scrum-команд нет назначенного лидера. Вместо этого команды организовываются сами и ставят цели для каждого спринта (итерации). Именно для постановки и фиксации целей и задач удобно использовать ДРАКОН-схемы, на которых заголовок алгоритма представляет название проблемы, а ветки – части проблемы и пути их решения. Каждая ветка будет отображать определенный спринт (2-3 недели), а действия, которые в ней содержатся, – задачи, которые необходимо выполнить в заданный интервал времени. На scrum-совещаниях это позволит сократить время на проведение мозговых штурмов и на то, чтобы донести информацию до сотрудников.

Таким образом, ДРАКОН позволяет не только представить описание какой-либо алгоритмической деятельности (программа, процесс и т. д.), но и структурировать необходимую информацию с целью принятия обоснованных решений и облегчения взаимодействия и обмена идеями между заинтересованными лицами, что является важным в работе системного аналитика. Следовательно, ДРАКОН может выступать в качестве нотации или как средство создания ментальных карт. Быстрое восприятие информации, представление ее в упорядоченном виде – то главное, что способен обеспечить данный язык для деятельности системного аналитика любого предприятия, в том числе ориентированного на производство.

### **Список литературы**

1. *Паранджанов, В. Д.* Как улучшить работу ума: Алгоритмы без программистов – это очень просто! – М. : Дело, 2001. – 360 с.
2. Визуальное программирование на языке ДРАКОН [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/post/345320/>
3. *Alan Dennis.* Systems analysis & design : an object-oriented approach with UML/Alan Dennis, Barbara Haley Wixom, David Tegarden. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2015. – P. 525.

*А. А. Фотина*, магистрант

*Ю. В. Мышкин*, старший преподаватель, e-mail: mubm@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

### **Ультразвуковое устройство для контроля остаточной толщины стенки трубы в труднодоступных условиях\***

*В статье представлено ультразвуковое устройство, реализующее методику оценки толщины стенки трубы на основе использования изгибных волн на низкой частоте (10-20 кГц), распространяющихся на большие расстояния (до 100 м). Приведено описание контроля остаточной толщины стенки теневым методом с использованием изгибной моды  $F(1,1)$  ультразвуковой волны трубы с внутренним диаметром 62 мм при переменной толщине стенки. Представлены подход и экспериментальные исследования по расчёту скорости дисперсионных мод при наличии мешающих типов волн, которые хорошо согласуются с теоретическими данными.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое устройство, толщина стенки трубы, изгибная волна, неразрушающий контроль, трубопровод.

#### *Введение*

Транспортировка нефти и газа в трубах различного диаметра является неотъемлемой частью в любой нефтегазовой компании. Как правило, трубопроводы подвергаются воздействию внешних агрессивных сред, вследствие чего возникают различные типы и виды дефектов, наиболее распространенные из которых – поверхностная эрозия и коррозия. Такие дефекты всегда приводят к уменьшению толщины стенки, для контроля которой существуют различные методы неразрушающего контроля и устройства их реализующие. Недостатком

---

© Фотина А. А., Мышкин Ю. В., 2018

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №18-79-10122).

этих устройств является ограничение по диаметру и расстоянию прозвучивания контролируемых объектов.

Современные дефектоскопы, предназначенные для контроля трубопроводов, имеют широкий функционал при реализации волноводного метода [1–2]. Так, Teletest FOCUS+ имеет стандартную зону контроля  $\pm 30$  м от места установки, при идеальных условиях до  $\pm 180$  м, что позволяет производить диагностику труб диаметром 38–1800 мм. Дефектоскоп Olympus UltraWave LRT имеет в своем составе частотный диапазон модуля сбора данных от 15 до 85 кГц с возможностью сканирования до 180 м в обоих направлениях и подходит для контроля труб с внешним диаметром от 50 до 600 мм. Дефектоскоп Wavemaker G4 обеспечивает контроль труб диаметром от 50 до 1800 мм, при этом ультразвуковые волны распространяются от преобразователей до 100 м в одном направлении. Устройство монитора коррозии и эрозии (СЕМ) ClampOn DSP позволяет производить диагностику труб до 2 метров в длину и диаметром от 150 мм. Также система способна обнаруживать местоположение и степень развития эрозии и может использоваться для контроля состояния любых металлических конструкций.

Такие системы, как Teletest FOCUS+, Olympus UltraWave LRT и Wavemaker G4, не имеют возможности измерения толщины стенки трубы. Данные недостатки могут быть устранены за счет использования изгибных волн [3–5] на низкой частоте (10–50 кГц). Для этого предлагается разработать подход для контроля толщины стенки с использованием изгибных волн и создать ультразвуковое устройство, реализующее данный подход, основная идея которого состоит в использовании кольцевой системы преобразователей для контроля нефтяных и газовых трубопроводов, газовых транспортных и водопроводных труб. При этом предлагаемое устройство может быть реализовано на предприятиях, производящих и контролируемых трубы различного диаметра: ООО «Промтехкомплект», АО «ИЭМЗ «Купол», ООО «ИРЗ «ТЭК», АО «Интроскан «Технолоджи», ООО «ПКНМ», ООО «НПИЦ «Качество».

В статье представлено устройство, реализующее инновационный подход оценки толщины стенки трубы на основе использования изгибных волн на низкой частоте (10–20 кГц), распространяющихся на большие расстояния (до 100 м).

#### *Используемые подходы*

Принцип измерения толщины стенки трубы, предлагаемый в разрабатываемом устройстве, основан на явлении дисперсии скорости ультразвуковой волны в ограниченных средах [5]. Известно, что в трубопроводах различного типоразмера продольные и изгибные моды ультразвуковой волны распространяются с различной скоростью в своей низкочастотной области [1–6]. В качестве примера приведены дисперсионные кривые для исследуемой стальной трубы диаметром 73 мм с толщиной стенки 5,5 мм (рис. 1). Из представленных кривых видно, что на исследуемой частоте 11,4 кГц могут существовать пять мод, включая  $L(0,1)$  при скорости 4938 м/с,  $T(0,1)$  – 3192 м/с,  $F(1,1)$  – 2232 м/с,  $F(2,1)$  – 1634 м/с,  $F(3,1)$  – 909 м/с.

Для труб различного диаметра скорость дисперсионных мод на определенной частоте может отличаться на несколько сотен или тысяч метров в секунду. Для труб фиксированного диаметра с различной толщиной стенки (рис. 2) разность скоростей может достигать таких же пределов в узком диапазоне частот, при этом, как правило, изгибная мода имеет наибольшие изменения по скорости по сравнению с продольной модой ультразвуковой волны. Так, скорость моды  $F(1,1)$  при разности толщины стенки в 1 мм (с 5,5 до 4,5 мм) на частоте 40 кГц изменяется на 160 м/с для трубы с внутренним диаметром 62 мм (рис. 2).

Таким образом, для контроля остаточной толщины стенки трубы можно использовать изменение скорости изгибной моды ультразвуковой волны при ее дисперсии в условиях переменной толщины стенки. Для этого предлагается использовать ультразвуковое устройство, блок-схема которого приведена ниже (рис. 3).

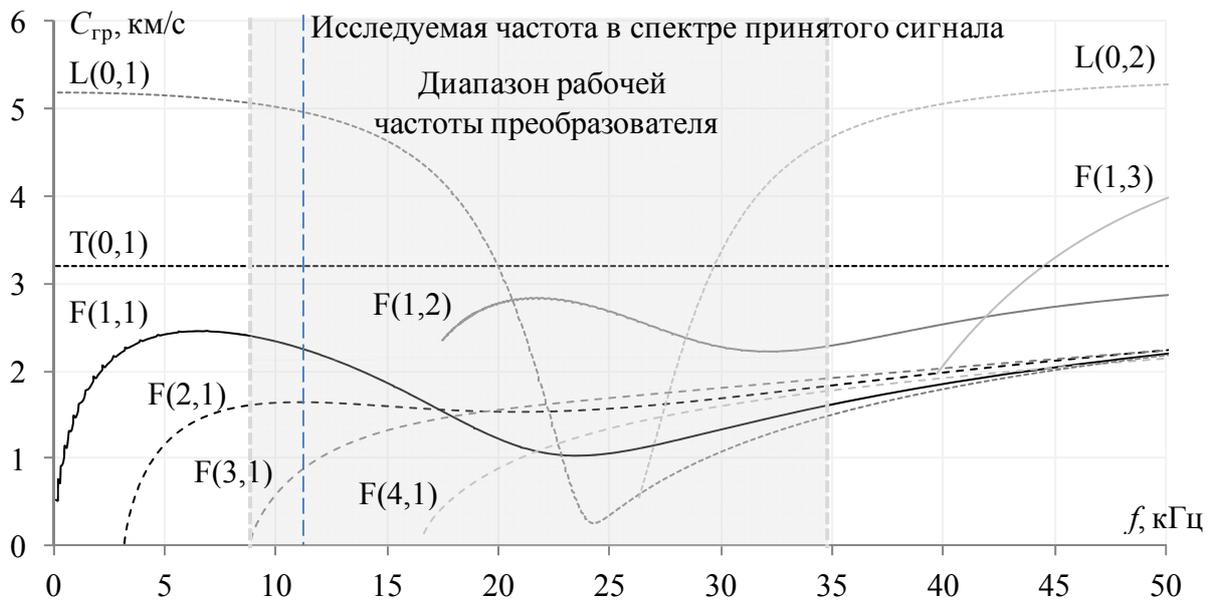


Рис. 1. Дисперсионные кривые для трубы диаметром 73 мм с толщиной стенки 5,5 мм

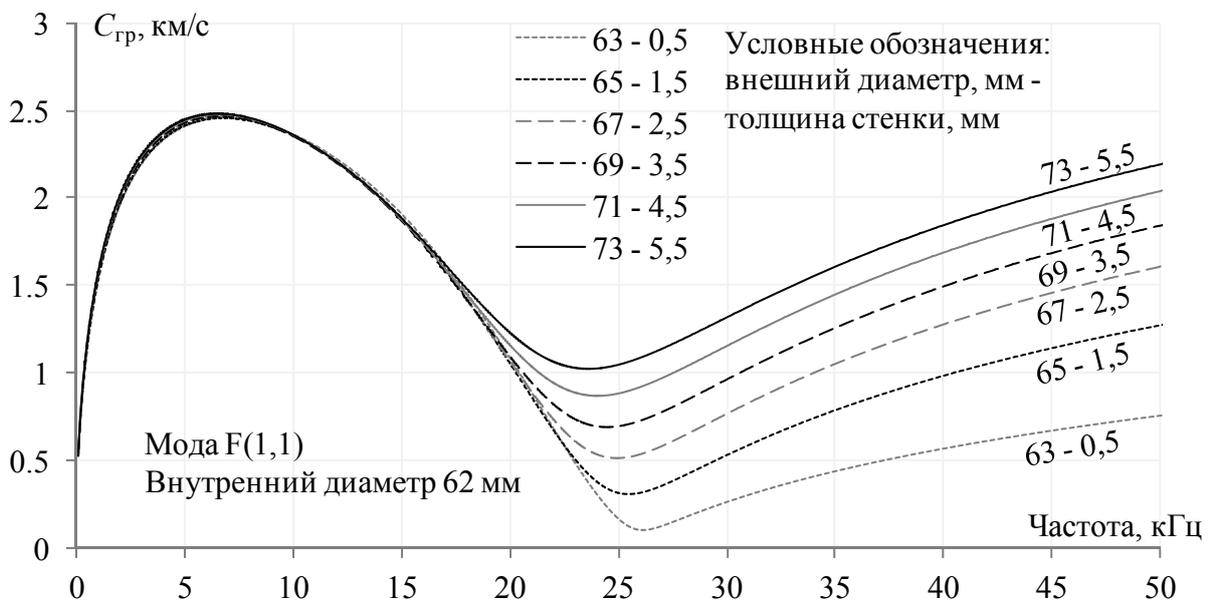


Рис. 2. Дисперсионные кривые изгибной моды F(1,1) ультразвуковой волны для трубы с внутренним диаметром 62 мм с переменной толщиной стенки

### Описание устройства

Устройство (рис. 3) содержит генератор зондирующих импульсов и усилитель с платой управления, заключенные в один корпус (выделено штриховой линией), к выходу которого подключен блок электромагнитно-акустических преобразователей, а к входу – пьезоэлектрический преобразователь. Управление устройством осуществляется с персонального компьютера со встроенной

платой АЦП, позволяющей оцифровывать сигнал с приемного пьезоэлектрического преобразователя. Устройство позволяет проводить контроль труб длиной до 10 метров, диаметром до 100 мм с толщиной стенки до 20 мм.

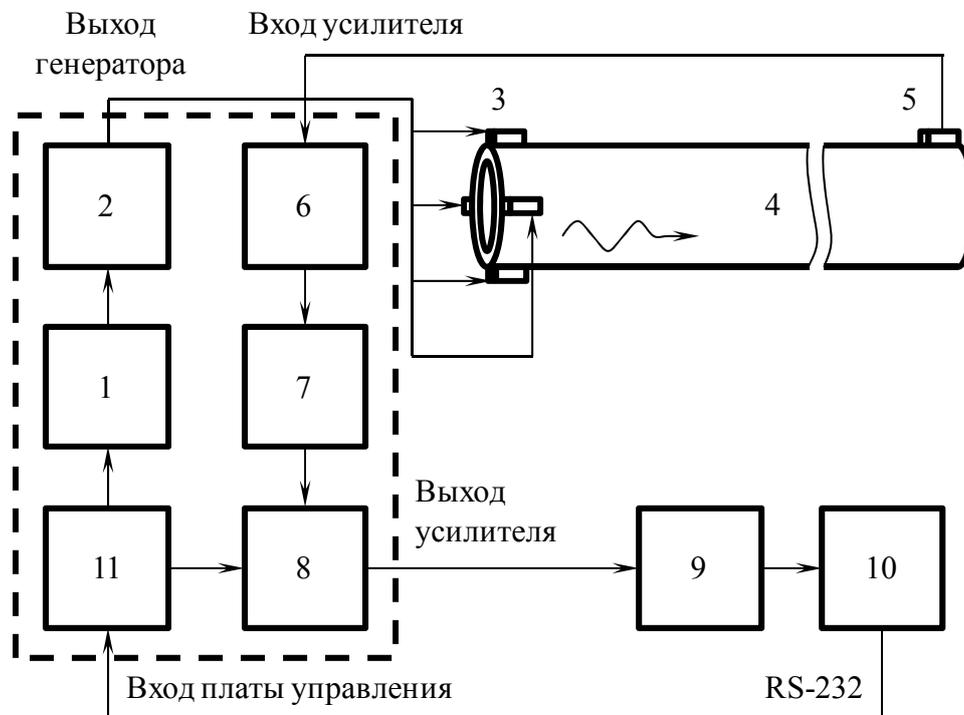


Рис. 3. Блок-схема оборудования для контроля остаточной толщины стенки трубы: 1 – генератор синхроимпульсов; 2 – генератор зондирующих импульсов; 3 – блок ЭМА преобразователей; 4 – исследуемый образец трубы; 5 – приемный пьезоэлектрический преобразователь; 6 – предусилитель; 7 – полосовой фильтр; 8 – регулируемый высокочастотный усилитель; 9 – плата АЦП; 10 – персональный компьютер; 11 – плата управления генератором синхроимпульсов и высокочастотным усилителем

Схема контроля реализована с использованием теневого метода для исключения влияния ложных отражений от торцов трубы импульсов ультразвуковой волны основной, мешающих и трансформированных мод. В качестве примера на рис. 4 приведена типичная эхограмма, регистрируемая приемным пьезоэлектрическим преобразователем на трубе длиной 3,2 м диаметром 73 мм с толщиной стенки 5,5 мм. Так, при развертке до 3 мкс наблюдаются эхоимпульсы четырех мод: L(0,1), T(0,1), F(1,1) и F(2,1). Разность скорости распро-

странения этих мод достигает не менее 600 м/с, что позволяет различать их эхоимпульсы на регистрируемой эхограмме.

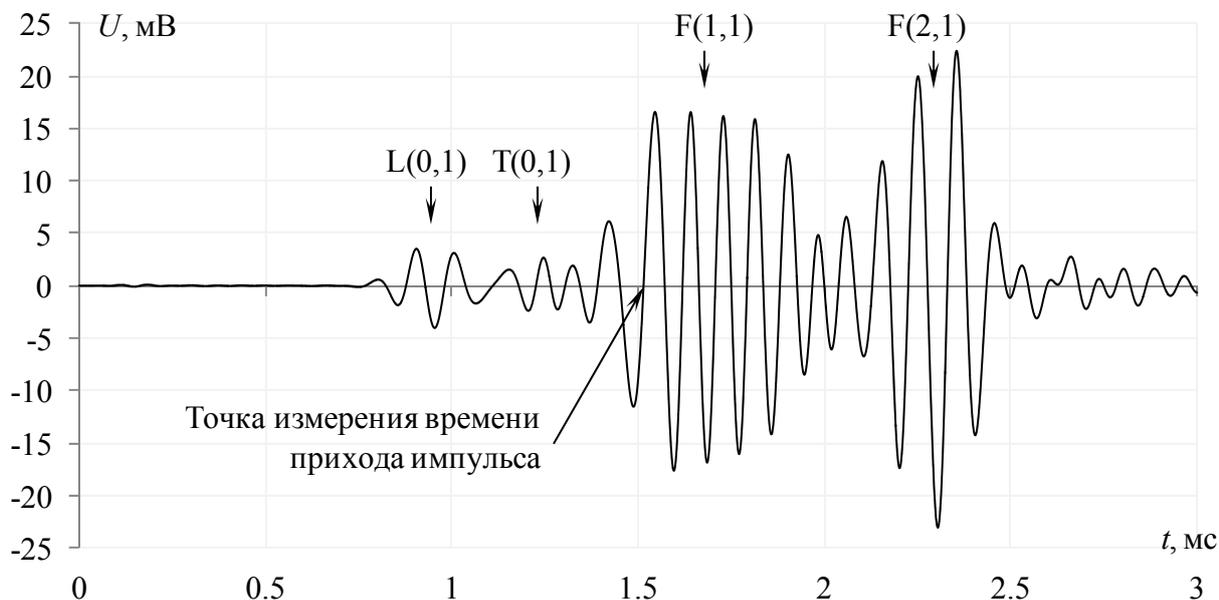


Рис. 4. Эхограмма, регистрируемая пьезоэлектрическим преобразователем

Скорость волны рассчитывается как отношение расстояния, пройденного волной, к времени начала импульса этой волны [7]. Однако в некоторых случаях определить на эхограмме начало импульса или его фронт бывает трудоемкой задачей, а иногда становится невозможным. Поэтому для расчета скорости использован альтернативный метод, который заключается в поиске точки смены фазы колебаний волны и учете количества периодов волны от этой точки до начала огибающей импульса. С использованием данной методики скорость распространения изгибной моды  $F(1,1)$  по измеренному времени прихода импульса (рис. 4) на частоте 11,4 кГц составила 2122 м/с, что не противоречит теоретическим данным (рис. 1).

#### *Выводы*

Таким образом, ультразвуковое устройство для контроля остаточной толщины стенки трубы в труднодоступных условиях позволяет осуществлять возбуждение и прием изгибной моды ультразвуковой волны, проводить анализ регистрируемых эхограмм и оценивать скорость распространения изгибной моды.

Разработанное устройство может быть использовано при разработке методик оценки толщины стенки трубы в условиях ее эксплуатации при отсутствии контроледоступности классическими неразрушающими методами, совершенствовании существующих подходов и методов контроля толщинометрии, дефектометрии и структуроскопии труб и трубопроводов.

### Список литературы

1. *Myshkin Y. V., Muravieva O. V.* The features of the guided wave excitation and propagation at testing of pipes. August 2017. Vol. 881, no. 1. Pp. 1-12.
2. Технология акустического волноводного контроля насосно-компрессорных труб / О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, Д. В. Злобин, С. А. Мурашов, А. В. Пряхин // В мире неразрушающего контроля. – 2014. – № 4 (66). – С. 55–60.
3. *Tang L., Wu B.* Excitation Mechanism of Flexural-Guided Wave Modes F (1, 2) and F (1, 3) in Pipes // Journal of Nondestructive Evaluation, 2017. Vol. 36, no. 3. Pp. 59.
4. *Rose J. L., Sun Z., Mudge P. J., & Avioli M. J.* Guided Wave Flexural Mode Tuning and Focusing for Pipe Testing // Materials evaluation, 2003. Vol. 61, no. 2. Pp. 162-167.
5. *Мышкин? Ю. В.* Обоснование применения изгибной волны для оценки толщины стенки трубы / Ю. В. Мышкин, О. В. Муравьева, А. А. Фотина // Приборостроение в XXI веке – 2018. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов XIV Всерос. науч.-техн. конф. (Ижевск, 12–14 дек. 2018 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – С. 170–182.
6. *Rose J. L., Li J., Zhao X., & Quarry M. J.* Ultrasonic guided wave flexural mode tuning for limited access pipe inspection // AIP Conference Proceedings. AIP, 2001. Vol. 557, no. 1. Pp. 164-171.
7. *Клюева, В. В.* Справочник в 8 томах / В. В. Клюева, И. Н. Ермолов, & Ю. В. Ланге ; под ред. В. В. Клюева // Ультразвуковой контроль. – М. : Машиностроение, НИИИН МНПО «Спектр», 2008. – 864 с.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| <i>Бабушкина А. А., Ткачук О. В., Шумихина Т. С.</i> Перезаправляемая зубная щетка с функцией таймера .....  | 3  |
| <i>Волков В. С., Королева М. Р.</i> Газодинамика воздушно-тепловой завесы.....   | 9  |
| <i>Елькин Н. Ю., Андрюшаев К. А., Казанцев С. В., Ломаев Г. В.</i> О возможности бесконтактного измерения перемещения, температуры и деформации объекта с использованием бистабильных ферромагнетиков..... | 17 |
| <i>Жуков А. Н., Гуменюк А. Н., Шевченко Ф. Е., Полянских И. С.</i> Модифицирующая добавка на основе техногенного сырья для бетонов и растворов.....  | 29 |
| <i>Кайсина И.А., Васильев Д.С., Абилов А.В., Мейтис Д.С, Кайсин А.Е.</i> Применение метода сетевого кодирования в сетях БПЛА .....   | 35 |
| <i>Колотов А. С., Васильев М. Ю., Бояришинов М. А.</i> Выбор антенн для обеспечения наилучшей связи по радиоканалу в мишенном комплексе .....  | 41 |
| <i>Кучина Т. Н., Данилова А. А.</i> Социальный проект «Твое время» – адаптация лиц, лишенных места проживания .....  | 50 |
| <i>Лебедева Е. В., Иванова К. О.</i> Экологические лампы .....   | 56 |
| <i>Королев С. А., Максимова О. С.</i> Решение обратной задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя.....   | 60 |
| <i>Пушкарев И. А., Пушкарева Т. А.</i> Расчет вынужденных колебаний солнечной шестерни и сателлита в планетарной передаче с повышенной податливостью элементов .....                                       | 68 |
| <i>Сухомесова К. А., Святский М. А.</i> Многотопливный двигатель аксиального типа .....  | 74 |
| <i>Тучкова П. А.</i> Использование языка ДРАКОН для решения задач системного анализа в сфере информационных технологий на промышленном предприятии.....  | 81 |
| <i>Фотина А. А., Мышкин Ю. В.</i> Ультразвуковое устройство для контроля остаточной толщины стенки трубы в труднодоступных условиях.....   | 87 |

*Электронное научное издание*

**«Выставка инноваций – 2018  
(осенняя сессия)»**

Сборник материалов XXVI Республиканской выставки-сессии  
студенческих инновационных проектов

(Ижевск, 15 ноября 2018 г.)

Технический редактор *С. В. Звягинцова*

Корректор *М. А. Ложкина*

Верстка *Н. Ю. Боярской*

Разрешено к использованию 24.12.2018. Объем 2,98 Мб. Уч.-изд. л. 2,96. Заказ № 448

Издательство Ижевского государственного технического университета  
имени М. Т. Калашникова. 426069, Ижевск, Студенческая, 7