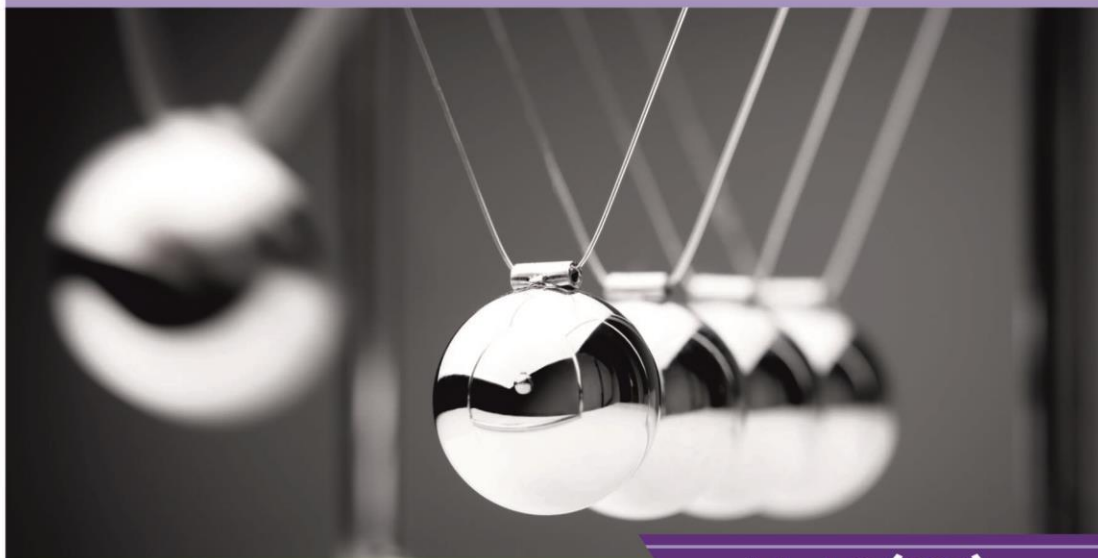




**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



**№10(29)**

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2019



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXIX международной  
научно-практической конференции*

№ 10 (29)  
Декабрь 2019 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2019

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам XXIX междунар. науч.-практ. конф. – № 10 (29). – М.: Изд. «МЦНО», 2019. – 46 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2019

## **Оглавление**

<b>Технические науки</b>	<b>4</b>
<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Безопасность деятельности человека</b>	<b>4</b>
РАСЧЁТ СИЛ И СРЕДСТВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ВО ВРЕМЯ НАВОДНЕНИЯ Дурягина Виктория Васильевна	4
<b>1.2. Радиотехника и связь</b>	<b>9</b>
СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ Кузяков Борис Алексеевич	9
<b>1.3. Химическая технология</b>	<b>20</b>
РАЗРАБОТКА МИКРОФЛЮИДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИНТЕЗА СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И ПАВ Безруков Артем Николаевич	20
<b>1.4. Энергетика</b>	<b>25</b>
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА НАЛИЧИЕ ПРОТЕЧЕК В КОРПУСЕ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА Полежаева Анастасия Ивановна	25
<b>Физико-математические науки</b>	<b>30</b>
<b>Раздел 2. Механика</b>	<b>30</b>
<b>2.1. Биомеханика</b>	<b>30</b>
РАЗРАБОТКА БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА РУКИ Кречетов Иван Владимирович Скворцов Аркадий Алексеевич	30

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 1.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### 1.1. БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

#### РАСЧЁТ СИЛ И СРЕДСТВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ВО ВРЕМЯ НАВОДНЕНИЯ

*Дурягина Виктория Васильевна*

*магистрант,*

*Вологодского государственного университета,*

*РФ, г. Вологда*

**Аннотация.** В статье рассматривается расчет сил и средств, требующихся для проведения аварийно-спасательных работ во время чрезвычайной ситуации. Расчет производится на примере наводнения в городе Чита летом 2018 года.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация; аварийно-спасательные работы; наводнение; силы; средства.

В ряду всех стихийных бедствий наводнения занимают лидирующее положение по числу повторов, охвату территорий и суммарному среднегодовому экономическому ущербу.

Наводнение — это временное затопление водой значительных участков суши в результате подъема уровня воды в реках, озерах, морях [1]. Основные причины наводнений — обильный и сосредоточенный приток воды при таянии снега и ледников, продолжительные ливни, ветровые нагоны воды в устье реки и на морское побережье, загромождение русла реки льдом или бревнами при сплаве леса (заторы),

закупоривание русла реки внутренним льдом (зажоры), цунами, прорыв гидротехнических сооружений, оползни и обвалы в долинах водотоков, внезапный выход на поверхность обильных грунтовых вод [2-3].

Для успешной и своевременной ликвидации чрезвычайной ситуации проводится расчет сил и средств, необходимых для выполнения аварийно-спасательных работ. Для выполнения необходимых расчетов примером чрезвычайной ситуации является одно из трех самых разрушительных наводнение в городе Чита, произошедшее летом 2018 года [4].

Силы непосредственного спасения городского населения, попавшего в зону наводнения (на плавсредствах) рассчитываются по формуле [5-6]:

$$N_{\text{СГ}}^{\Gamma} = K_{\text{СГ}} * N_{\text{ЗАТ}}^{\Gamma} \quad (1)$$

где:  $N_{\text{СГ}}^{\Gamma}$  – количество спасательных групп;  $K_{\text{СГ}}$  – количество спасательных групп на одного спасаемого, гр./чел ( $K_{\text{СГ}} = 0,0033$  гр./чел);  $N_{\text{ЗАТ}}^{\Gamma}$  – численность городского населения, попавшего в зону затопления, чел.

$$N_{\text{СГ}}^{\Gamma} = 0,0033 * 2425 \approx 8 \text{ спасательных групп}$$

Спасательная группа состоит из 7-8 человек с механизированным инструментом, ведут спасательные работы в одну смену;

8 спасательных групп необходимо для спасения городского населения, попавшего в зону наводнения.

#### 1. Расчет сил и средств для ведения разведки

Количество разведывательных дозоров  $N'_{\text{рд}}$ , необходимых для разведки затопленных населенных пунктов городского типа, определяется по формуле:

$$N'_{\text{рд}} = \frac{8,4 * S_{\text{жз}} * \Pi}{T * \Pi_{\text{лс}}} * K_{\text{с}} * K_{\text{п}}, \quad (2)$$

где:  $S_{\text{жз}}$  - площадь затопления городов ( $\text{км}^2$ ); 8,4 - трудоемкость разведки 1  $\text{км}^2$  затопленных населенных пунктов (чел.-ч/ $\text{км}^2$ );  $\Pi$  – количество смен;  $T$  - планируемая продолжительность ведения разведки (ч);  $\Pi_{\text{лс}}$  - количество личного состава в разведдозоре (чел.);  $K_{\text{с}}$  – коэффициент времени суток ( $K_{\text{с}}$  на ночь равен 1,5);  $K_{\text{п}}$  - коэффициент погодных условий (при плохой погоде  $K_{\text{п}} = 1,25$ ).

$$N'_{\text{рд}} = \frac{8,4 * 5,230 * 3}{4 * 5} * 1,5 * 1,25 = 4,9 \approx 5 \text{ разведывательных дозоров}$$

Исходя из расчётов, получаем, что для разведки затопленного населенного пункта городского типа Нерчинский муниципальный район с площадью 5,230 км<sup>2</sup> потребовалось 5 разведывательных дозоров.

Количество разведывательных дозоров ( $N''_{рд}$ ), необходимых для разведки зоны затопления (вне населенных пунктов) определяется по формуле:

$$N''_{рд} = \frac{0,28 * L_{зат} * \Pi}{T * \Pi_{лс}} * K_c * K_{п}, \quad (3)$$

где: 0,28 - трудоемкость разведки 1 км зоны затопления, чел.-ч/км;  $L_{зат}$  - протяженность маршрута разведки, км.  $\Pi$  - количество смен;  $T$  - планируемая продолжительность ведения разведки (ч);  $\Pi_{лс}$  - количество личного состава в разведдозоре (чел.);  $K_c$  - коэффициент времени суток ( $K_c$  на ночь равен 1,5);  $K_{п}$  - коэффициент погодных условий (при плохой погоде  $K_{п} = 1,25$ ).

$$N''_{рд} = \frac{0,28 * 10 * 3}{4 * 5} * 1,5 * 1,25 \approx 1 \text{ разведывательный дозор}$$

Таким образом, получаем, что для разведки зоны затопления (вне населенных пунктов) потребовался 1 разведывательный дозор.

Общее количество разведывательных дозоров на плавсредствах ( $N''_{рд}$ ) определяется по формуле:

$$N''_{рд} = N''_{рд} + N'_{рд}, \quad (4)$$

где:  $N''_{рд}$  - количество разведывательных дозоров, необходимых для разведки зоны затопления (вне населенных пунктов), количество разведывательных дозоров  $N'_{рд}$ , необходимых для разведки затопленных населенных пунктов городского типа.

$$N''_{рд} = 5 + 1 = 6 \text{ разведывательных дозоров}$$

Исходя из расчётов получаем, что общее количество разведывательных дозоров на плавсредствах равно 6.

2. Расчет сил и средств, необходимых для выполнения других неотложных работ

Расчет потребности сил и средств, необходимых для восстановления (строительства) защитных дамб, определяется по формуле:

$$N_{\text{ИП}}^{\text{дамб}} = \frac{2,5 * L_{\text{дамб}}}{T * \Pi} * K_c * K_{\text{п}}, \quad (5)$$

где:  $N_{\text{ИП}}^{\text{дамб}}$  - количество инженерных подразделений, необходимых для восстановления (строительства) дамб; 2,5 - трудоемкость возведения одного погонного метра дамбы, чел.-ч;  $L_{\text{дамб}}$  - протяженность восстанавливаемой (строящейся) дамбы, м;  $\Pi$  - средняя численность личного состава привлекаемых инженерных подразделений, чел.;  $T$  - планируемая продолжительность работ, ч;  $K_c$  - коэффициент времени суток ( $K_c$  на ночь равен 1,5);  $K_{\text{п}}$  - коэффициент погодных условий (при плохой погоде  $K_{\text{п}} = 1,25$ ).

$$N_{\text{ИП}}^{\text{дамб}} = \frac{2,5 * 300}{12 * 25} * 1,5 * 1,25 \approx 5 \text{ инженерных подразделений}$$

Инженерное подразделение состоит из 25-28 человек с тяжелой техникой, может обеспечить действия до 6-8 спасательных групп и может вести работы в две смены.

Таким образом, на основании расчетов можно сделать вывод, что для восстановления (строительства) защитных дамб протяженностью 300 м потребовалось 5 инженерных подразделений.

Нужно отметить, что наводнение – это природное явление, бороться с которым человеку весьма сложно, порой даже не под силу. История содержит много ярких примеров, насколько человек иногда бессилен перед стихией. В масштабах субъектов РФ и всей страны в целом также проводятся посильные заблаговременные работы по предупреждению чрезвычайных ситуаций. Однако чтобы сохранить свою жизнь и жизни своих близких в чрезвычайных ситуациях, какими являются и наводнения, каждый человек обязан делать все зависящее от него [7-8].

### Список литературы:

1. Учебник спасателя / С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева, 2-е изд. Перераб. и доп. – Краснодар.: Сов. Кубань, 2002. – 528 с.
2. Виды и причины наводнений: причины наводнений [Электронный ресурс] // сайт - Режим доступа: <http://www.shkola332009.narod.ru>.



3. Главное управление МЧС России по Забайкальскому краю [Электронный ресурс] //Официальный сайт главного управления МЧС России по Забайкальскому краю: - Режим доступа: <http://75.mchs.gov.ru/>.
4. МЧС России [Электронный ресурс] // Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации ЧС: сайт - Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/operationalpage%2Fdigest>.
5. Тюков Н.В. Организация и ведение аварийно-спасательных работ: Учебное пособие / Н.В. Тюков, В.И. Макаров, И.В. Сергеев, В.В. Селяков; под ред. Н.В. Тюкова. - часть 1. - Вологда: ВоГТУ, 2005. - 206 с.
6. Тюков Н.В. Организация и ведение аварийно-спасательных работ: учебное пособие / Н.В. Тюков, В.И. Макаров, И.В. Сергеев, В.В. Селяков; под ред. Н.В. Тюкова. - часть 2. - Вологда: ВоГТУ, 2005. - 175 с.
7. Постановление Правительства РФ от 04.09.2003 г. № 547 (ред. от 10.09.2016) "О подготовке населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера".
8. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 (ред. от 30.11.2016) "О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций".

## 1.2. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ

**Кузяков Борис Алексеевич**

канд. физ.-мат. наук,  
Российский технологический университет,  
РФ г. Москва

### OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION SYSTEM WITH THE RETRANSLATION

**Boris Kuzyakov**

Candidate of physical-mathematical Science,  
Russian technological University,  
Russia, Moscow

**Аннотация.** Основная задача статьи – оценка возможностей беспроводной ретрансляции сигналов оптического диапазона на основе применения квадрокоптеров. В настоящее время, квадрокоптеры широко применяются в разнообразных сферах науки и техники, включая системы телекоммуникаций. Среди отечественных систем беспроводной оптической связи наиболее приемлемой, для решения поставленной задачи, оказывается система «БОКС». Приведены параметры нескольких грузовых квадрокоптеров (ГКР) с разной грузоподъемностью: 6 кг – 15 кг – 100 кг. Показаны области характеристик наиболее привлекательных для ретрансляторов аккумуляторных батарей, в частности, на базе новых материалов: литий – полимеры. Кроме этого, рассматривается вариант способа определения высоты ГКР, альтернативный системе ГЛОНАСС/GPS. В предложенном варианте, погрешность определения высоты ГКР не превышает 3 м. Проведенный многосторонний анализ показал, что в наше время наиболее эффективным носителем ретранслятора сигналов оптического диапазона является ГКР с комбинированным энергоснабжением.

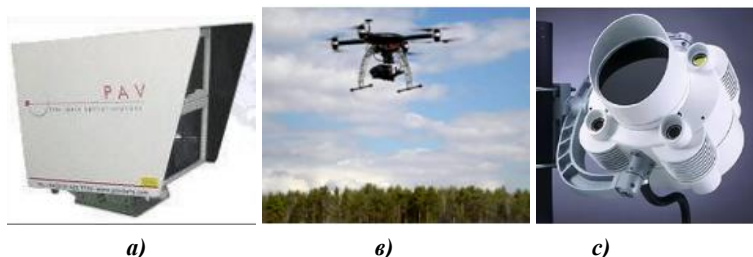
**Abstract.** The main objective of the article is the assessment of the capabilities of a wireless relay signals of the optical range through the use of quadcopters. Current quadcopters are widely used in various fields of science and technology, including telecommunications systems. Among domestic systems of wireless optical communication the most acceptable, for the solution of an objective, there is a system "BOX". The parameters of several cargo quadcopters (GCR) with different load capacity are given: 6 kg - 15 kg – 100 kg. Areas of characteristics of the most attractive for retranslation of accumulator batteries, in particular, on the basis of new materials are shown: lithium – polymers. In addition, a variant of the method for determining the height of the GCR, an alternative to the GLONASS/GPS system, is considered. In the proposed version, the error in determining the height of the GCR does not exceed 3 m. the Multilateral analysis showed that in our time the most effective carrier of the optical range signal retranslation is the GCR with a combined power supply.

**Ключевые слова:** оптический диапазон; ретрансляция сигналов; квадрокоптер; грузоподъемность; флуктуации корпуса; аккумулятор; определение высоты; стоимость системы.

**Keywords:** optical range; retranslation signals; capacity; quadcopter; fluctuations in the housing; the battery; the determination of the height; the cost of the system.

## Введение

В статье рассматриваются возможности реализации линии связи оптического диапазона с ретранслятором сигналов (рис. 1) на базе квадрокоптера. В настоящее время квадрокоптеры широко применяются в разнообразных сферах науки [7, Р. 9581] и техники, включая системы телекоммуникаций. В ряде работ, рассматриваются вопросы эффективного применения квадрокоптеров для ретрансляции сигналов радиочастотного диапазона. В этих схемах, источник и приемник сигналов установлены на земле, а приемопередающие модули ретранслятора размещены на корпусе квадрокоптера, такие схемы считают "активным". В оптическом диапазоне кроме такой же схемы, возможна - другая: источник и приемник сигналов установлены на земле, а на квадрокоптере размещены переотражатели - зеркальные или уголковые. Ретрансляторы такого типа [6, Р. 3] называют «пассивными».



**Рисунок 1. Вариант системы передачи (симплекс) оптических сигналов с применением ретрансляции: а) - модуль приемника; в) – оптический ретранслятор на ГРК; с) – модуль передатчика**

### **1. «Активный» ретранслятор**

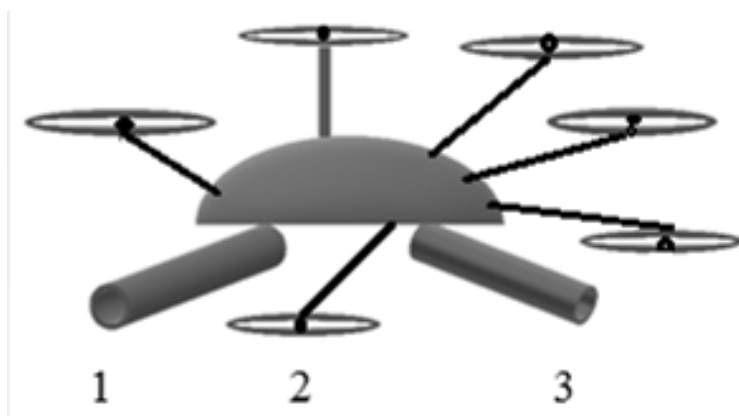
В данной статье рассматриваются возможности "активных" ретрансляторов. Для оценки их возможностей (см. рис. 1) были проведены ряд экспериментов с использованием «легких» квадрокоптеров: SYMA X5 SW (SYMA) и DJI Mavic Pro Platinum (MPP). В комплект SYMA X5 SW, входит транслирующая камера HD FPV, которая позволяет видеть передаваемое изображение видеокамеры на экране пульта управления или на подключенном смартфоне. Это единственный дрон из серии SYMAX5 с функцией First Person View, передающий видео, через Wi-Fi на частоте 5,8 ГГц. Размер, с защитой пропеллеров – 310 x 310 x 105 мм, общий вес - 120 г. MPP обладает 4-мя винтами, размер – 55 x 52,7 x 19,5 см, вес - 670 г. Этот квадрокоптер имеет современный помехоустойчивый передатчик 2,4 ГГц, который помимо привычных функций по управлению полетом модели позволяет осуществлять переключение различных режимов полета. Дальность действия управления – 100 м. Для «активной» системы, при реализации полной системы «дуплекс», нужны два передающих модуля и два приемных модуля на земле и столько же на коптере. При решении задачи, например, передачи оптических сигналов между авто большой колонны, можно использовать систему «симплекс», всего 4 модуля. Среди отечественных эффективных атмосферных оптических линий связи (АОЛС), большой популярностью пользуются системы «БОКС». Причем, в системе «БОКС» (рис. 2) модули приемника и передатчика выполнены в виде отдельных блоков, что упрощает решение задачи «симплекс». При этом, на ретрансляторе устанавливают только два модуля «БОКС»: один - приемный, второй – передающий (рис. 3).



**Рисунок 2. Основные модули системы «БОКС»: по краям – передающий и приемный модули, в середине – блок управления**

В оптических системах, приведенных на рис. 1, и рис. 3 важными являются: расходимость лазерного излучения и положение коптера по высоте на данной местности. Это обусловлено самой сущностью [1, с. 23; 3, с. 34] оптической системы, так, диаметры внешних линз, используемых телескопов, составляют 110 мм. Расходимость лазерного излучения обычного источника, без дополнительной оптики, оценивается величиной  $\sim 50$  мрад. При этом, диаметр пятна лазерной засветки на расстоянии 100 м, оказывается, порядка  $\sim 150$  мм, пятна лазерной засветки на экране, на расстоянии 100 м, оказывается  $\sim 150$  мм, при диаметре излучения на выходном торце лазера  $\sim 2$  мм. Если использовать готовые модули системы «БОКС», без стоек крепления, то суммарный вес модулей (по паспортным данным), без системы питания, составит:  $2 \times 8 \text{ кг} = 16 \text{ кг}$ . В рассматриваемой системе предполагается использовать грузовой квадрокоптер (ГКР), время его полета, после подзарядки - 15-30 мин. В этой связи, можно ограничиться аккумуляторами относительно небольшой емкости. В этом случае, суммарный вес аппаратуры ретрансляции на коптере, оказывается  $\sim 20 \text{ кг}$ .

В наше время, в парке предлагаемых ГКР, имеются модели с требуемыми параметрами, часть из них приведена в табл. 1



**Рисунок 3. Размещение модулей «БОКС» на коптере:  
1 – передающий; 3 – приемный 2 – пропеллер коптера**

**Таблица 1.**

**Параметры моделей ГРП**

Пп.	Модель	Максим. груз, кг	Стоимость*
1	MATRICE 600 PRO	6	300 т.р.
2	SteadDroneQU4DX	8	460 т.р.
3	Freefly ALTA 8	12,5	700 т.р.
4	Versadrones Heavy	12,5	800 т.р.
5	Airborg H8 10K	15	1400 т.р.
6	Aerones drone	100	≥ 5000 т.р.

\* *Стоимости приведены ориентировочные, т.к. получены на основе анализа информации СМИ по договорным ценам на ГКР, которые выпускаются малыми сериями и в разных модификациях.*

Данные, приведенные в табл.1, показывают, что стоимость ГКР, существенно выше, чем «легких» коптеров и в сильной мере зависит от грузоподъемности. На некоторые модели цены, вообще, не указываются и все уточняется при конкретном заказе на покупку выбранного ГКР. Большинство видов ГКР – мультикоптеры, используются конструкции с 6-ю, 8-ю и более пропеллерами. Некоторые из них снабжены специальными держателями и/или съемными захватами грузов. Общий вид

нескольких ГКР приведен на рис.4. Имеющаяся информация в СМИ и данные табл. 1, показывают, что ГКР с максимальной грузоподъемностью 15 кг, реализованы несколькими фирмами и имеются на рынке. Однако, оценка массы нашего оптического ретранслятора несколько превышает эту величину и, следовательно, и его стоимость.



а)



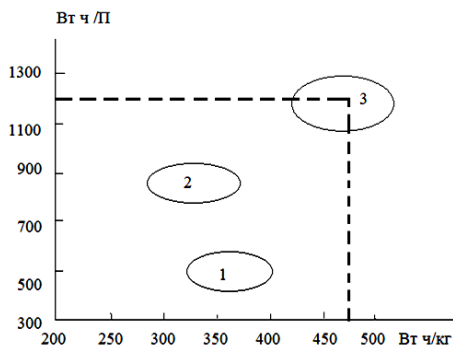
б)

**Рисунок 4. Общий вид нескольких ГКР: а) на коптере – 8 пропеллеров; б) коптер снабжен съёмными захватами**

## II. Пути снижения массы аппаратуры ретранслятора

Чтобы «вписаться» в эту категорию ГКР «среднего класса» по грузоподъёмности, есть несколько возможностей: 1) снижение массы корпусов оптических модулей; 2) снижение массы аккумуляторной батареи. 1) Для снижения массы корпуса модуля «БОКС» предлагается замена материала корпуса на Al, при тех же габаритах, и уменьшение его толщины в 2 раза. При этом, снижение массы одного модуля превышает ~ 1 кг. 2) Для снижения массы аккумуляторной батареи предполагается использовать новые высокоэффективные материалы

на основе литий – полимеры (Li – NMC). При этом, суммарное снижение массы аккумуляторов превышает  $\sim 2$  кг. Это заключение подтверждается [5, с. 2] графиком на рис. 5. На нем: вертикальная ось – объемная плотность энергии, Вт ч/л (л – объем батареи); горизонтальная ось – гравиметрическая плотность энергии, Вт ч/кг.



**Рисунок 5. Области параметров современных аккумуляторов на основе разных материалов: 1) Li – Sulfur; 2) Si – based, Li – ion; 3) Li – NMC**

Дополнительное снижение массы аккумуляторов на 1 – 1,5 кг на квадрокоптере, может быть реализовано за счет использования энерго-снабжения гибридного типа, реализованного на ГКР Airborg H8 10K. Таким образом, проведя модернизацию модулей системы «БОКС», в соответствии с пп. 1 – 2, можно снизить массу аппаратуры на величину  $\Delta M$  ( $\Delta M = 2 \times 1 \text{ кг} + 2 \text{ кг} + 1,5 \text{ кг} = 5,5 \text{ кг}$ ), превышающую 5 кг. Эти модификации позволяют «вписаться» в весовую категорию коммерческого варианта носителя оптического ретранслятора – ГКР Airborg H8 10K. Размеры восьмистороннего беспилотника (БПЛА) Airborg H8 10K., составляют 1950 x 1500 x 1500 мм, он оснащен пропеллерами из углеволокна. Время полета – 3 часа с нагрузкой до 4-х кг, 1 час – с нагрузкой до 15 кг. Максимальная скорость полета коптера – 64 км/ч, максимальная дальность полета -160 км, возможность полета при ветре до 56 км/ч. Система автопилотирования AAS производства Top Flight Technologies контролирует настройки систем БПЛА и следит за состоянием гибридной системы питания, которая включает в себя электродвигатель, бензобак и литий – полимерный аккумулятор емкостью 6000 мАч (50 В). На борту ГКР также расположены: стабилизаторы, твердотельный накопитель полетной информации и дистанционный приемопередатчик с радиусом действия до 3,2 км.



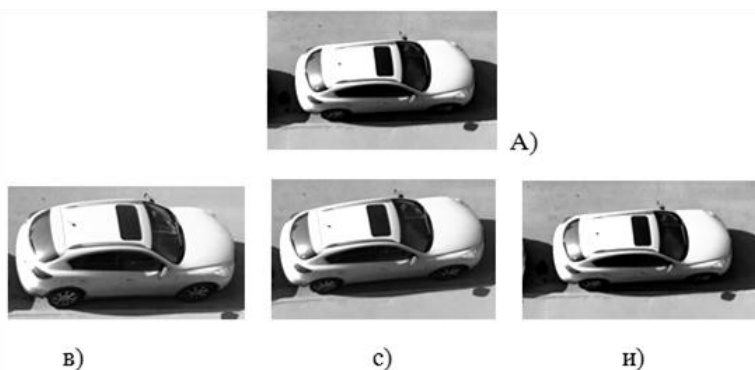
### III. Качественное Определение высоты ГКР

Наряду с уменьшением стоимости системы (ΔС), за счёт снижения массы аппаратуры ΔМ, возможно снижение ΔС за счет уменьшения объёма технических сервисов. Как известно, современные эффективные коптеры «легкого» и «среднего» класса по грузоподъёмности, содержат аппаратуру определения их местоположения в плоскости и по высоте. Уже достигнуты хорошие точности в определении координат на местности. Повышение точности определения  $h$ , облегчает решение задачи наведения и удержания оптической связи между наземными модулями системы связи и модулями, установленными на грузовом коптере. Точность измерений координат коптера с помощью ГЛОНАСС/GPS, зависит от конструкции и класса приёмника, числа и расположения спутников (в реальном времени), состояния ионосферы и атмосферы Земли (сильной облачности и т. д.), наличия помех и других факторов. "Бытовые" ГЛОНАСС/GPS - приборы, для "гражданских" пользователей, имеют, в среднем, реальную точность, при минимальной помехе,  $\pm 5 - 15$  метров в плане. Однако, по информации из СМИ, определение высоты объектов – значительно хуже. Если, использовать «коэффициент ухудшения» ( $K_y$ ) – 2,5 - 3,5, то даже при малом  $K_y = 2,5$ , оценки точности определения высоты  $h$  объекта, составляют: 5 – 38 м. Эта оценка соответствует оценкам из других источников информации:  $\pm 10$  м – при  $h = 50$  м и  $\pm 50$  м, при  $h = 100$  м. В нашей задаче, величина  $h = 50 - 60 - 80$  м. При этом, с учетом реализации оптической системы ретрансляции для решения поставленной задачи, даже нижняя оценка точности определения  $h$  ( $0,1 h$ ), и на пределе, не «подходит». А верхняя оценка (более  $0,5 h$ ) – совершенно не приемлема. Средняя величина –  $0,25 h$  – так же малопривлекательна, хотя применяется сложная система спутникового мониторинга.

Возможен некоторый альтернативный метод определения высоты квадрокоптера над Землей  $h$ . Он базируется на том, что сейчас, информация с видеокамеры ГКР, как правило, передается на пульт управления или экран встроенного смартфона. При высоком качестве передачи, наблюдаемые объекты могут быть визуально хорошо различимы.

Был поставлен ряд натуральных экспериментов (рис. 6) по передаче фото легких авто, снятых с разной высоты  $h$ . Визуальное сравнение приведенных фото, показывает, что размеры авто на фото (А) и (В) сильно отличаются, а габаритные размеры авто на рис. (А) и (и), практически совпадают. Причем, точно известно, что высота съёмки фото - (и) составляла 21 м (балкон 7-го этажа 12-ти этажного жилого дома. Высоты съёмки фото – с), в) – 18 м, 15 м, соответственно. При использовании «шлема» в аппаратуре оператора, степень различения объектов ещё более

повышается, за счет снижения фоновых помех и повышения контрастности изображений. Можно сказать, что точность определения высоты, с помощью приведенных фото - не более 3 м, и она вполне объективна (с учетом некоторых погрешностей любительской съемки – даже без штатива и без точного позиционирования (выбора ракурса съёмки) объектов. Таким образом, точность определения  $h$  ГРК в предложенном методе оказывается почти в 2 раза выше оценки наилучшей точности, при использовании системы ГЛОНАСС/GPS и более чем в 10 раз выше, чем при оценке худшей точности. Это обстоятельство может послужить основой для отказа от сервиса ГЛОНАСС/GPS в ГРК в позиции определения  $h$  объекта, что позволяет снизить стоимость всей системы.

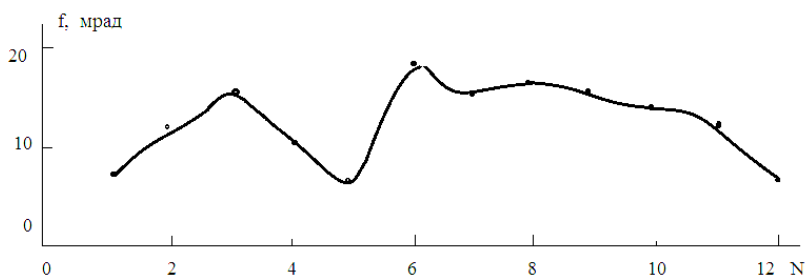


**Рисунок 6. Фото авто: А) – наблюдаемый объект;  
в), с), и) - снятые с помощью бытовой видеокамеры смартфона,  
с разной высоты, с шагом 3 м.**

#### IV. Оценки вибрации корпуса

В оптической системе передачи сигналов, необходима прямая видимость между передающим и приемным модулями при малых оптических апертурах. Поэтому, требуются оценки вибрации корпуса ретранслятора. Для оценки вибрации коптера, на нем закрепляли лазерный излучатель видимого диапазона [3, с. 35]. На экране, установленном на земле, измерялись блуждания пятна лазерного излучения, за счет вибрации, во времени. Временной интервал между последовательными измерениями  $N$ , составлял 10 с. Зависимости изменения угла наклона лазерного излучения в открытом пространстве (измерения проводились во дворе, у фасадной стены Университета) для квадрокоптера МРР ( $h = 3,0$  м) приведены на рис. 7. Подробное сопоставление полученных графиков для коптеров разного типа, показывает, что: во-первых,

изменения угла наклона лазерного излучения в открытом пространстве, носят случайный характер. Во-вторых, естественно, в среднем, собственно углы наклона лазерного излучения при высоте квадрокоптера MPP  $h = 3,0$  м меньше, чем при других, меньших  $h$ , используемых в проведенных экспериментах. В-третьих, в среднем, собственно углы наклона лазерного излучения, измеренные в опытах на MPP в два раза меньше, чем на SYMA, их максимальное значение не превышает  $\sim 20$  мрад. Результаты 3-го пп. обусловлены, в первую очередь, наличием на МПП датчика высоты, гироскопов и стабилизаторов.



**Рисунок 7. Зависимость изменения угла наклона лазерного излучения в помещении для квадрокоптера DJI MPP,  $h = 1,2$  м (● - эксперимент)**

### Заключение

1. Экспериментальные изменения углов наклона лазерного излучения в открытом пространстве и в помещении, при использовании лазерного излучателя носят случайный характер.

2. В среднем, собственно флуктуации углов наклона лазерного излучения, измеренные в опытах на MPP, меньше чем на других коптерах и в два раза меньше, чем на SYMA.

3. Проведенные эксперименты показали, что наибольшими перспективами в оптическом диапазоне, обладают квадрокоптеры с более совершенной стабилизацией в обеих системах ретрансляции сигналов.

### Список литературы:

1. Кузяков Б.А., Тихонов Р.В. К проблеме повышения доступности оптической телекоммуникационной системы с атмосферными сегментами [Текст] // Труды III-й Всероссийской конференции по фотонике и информационной оптике. М.: НИЯУ МИФИ. - 2014. - с. 23-24.

2. Кузяков Б.А. и др. Повышение доступности оптической телекоммуникационной системы с атмосферными сегментами [Текст] // Электромагнитные волны и Электронные системы. - 2013. - т. 18, - № 12, - С. 38-43.
3. Кузяков Б.А. Схема ретрансляции сигналов оптического диапазона в атмосферной линии связи с использованием квадрокоптера [Текст] // Материалы междунар. научно-практич. конф. «Наука сегодня: Теория и практика». – 2017. - Вологда. - С. 34-35.
4. Кузяков Б.А. Повышение эффективности оптической системы связи при воздействии неблагоприятных атмосферных явлений в период сеанса телекоммуникации [Текст] // Сб. научных трудов, XXX Международная конференция, т. 30, Лазеры в науке, технике, медицине. - М. – 2019, – с. 84-88.
5. [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sadoway.mit.edu>. A new approach to rechargeable batteries. Press Inquiries, - 4 P., <http://donaldsadoway.com/donald-sadoway.html> (Дата обращения – 22-01-2018).
6. <http://mediasat.info>. И. Сахно. Режим доступа: Era-lasernoj-svyazi-priblizhaetsya. Short information, 5 P., <http://mediasat.info/2016/02/26/era-lasernoj-svyazi-priblizhaetsya> (Дата обращения – 26-02-2016.);
7. Rutkauskas M. and other. Autonomous multi-species environmental gas sensing using drone-based Fourier-transform infrared spectroscopy [Text] // Optics Express. - 2019. - V. 27. - No. 7. - P. 9578-9587.

### 1.3. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

#### РАЗРАБОТКА МИКРОФЛЮИДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИНТЕЗА СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И ПАВ

*Безруков Артем Николаевич*

*канд. хим. наук, доцент,  
Казанский национальный исследовательский  
технологический университет,  
РФ, г. Казань*

#### DEVELOPMENT OF MICROFLUIDIC DEVICES FOR SYNTHESIS OF SUPRAMOLECULAR SYSTEMS BASED ON POLYMERS AND SURFACTANTS

*Artem Bezrukov*

*Candidate of chemical sciences, associate professor,  
Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Аннотация.** В настоящей работе рассмотрена методика проектирования микрофлюидных устройств для синтеза супрамолекулярных систем на основе полимеров и поверхностно-активных веществ и их изготовления методом литографии. Разработаны и изготовлены устройства с  $\psi$ -образным расположением каналов, осуществлено тестирование устройств на предмет возможности получения комплексов полимер-ПАВ. Показаны возможности регулирования процессов фазообразования в среде микроканала при ламинарном течении потоков взаимодействующих частиц.

**Abstract.** This paper demonstrates a method of design of microfluidic devices for synthesis of supramolecular systems based on polymers and surfactants and their fabrication by lithography. Microfluidic devices with Y- and  $\psi$ -shaped channels were developed and fabricated; these devices were tested to synthesize polymer-surfactant complexes. The opportunities of control of phase formation processes were revealed for a microchannel environment with laminar flows of interacting particles.

**Ключевые слова:** микрофлюидика; литография; ассоциация; фазообразование.

**Keywords:** microfluidics; lithography; association; phase formation.

**Введение.** Микрофлюидные устройства являются перспективными системами для синтеза супрамолекулярных структур [1, 2]. Упорядоченные ламинарные потоки компонентов в микроканалах позволяют создавать условия для направленного регулирования процесса ассоциации различных соединений и свойств образующихся комплексов [3, 4].

По сравнению с традиционными способами получения супрамолекулярных систем, микрофлюидика предлагает дополнительные возможности управления процессом синтеза и регулирования свойств комплексов, такие как конструктивные особенности и режим работы микрофлюидного микроустройства. В настоящей работе рассмотрен процесс создания и тестирования микрофлюидных устройств для реализации процесса взаимодействия полимеров и ПАВ.

**Экспериментальная часть.** Печать фотошаблонов для изготовления микрофлюидных чипов осуществлялась в компании CAD/Art Services, США, разрешение печати составляло 20 000 точек на квадратный дюйм. Матрицы для микрофлюидных устройств изготавливались путем нанесения негативного фоторезиста SU-8 (компания MicroChem, США). В качестве материала для изготовления микрофлюидных устройств использовался полидиметилсилоксан. Процесс фазообразования изучали на микроскопе Levenhuk D320 с видеокамерой Levenhuk M1400 Plus. В качестве полимера использовалась полиакриловая кислота (Polysciences, Inc., США), со средневесовой молекулярной массой  $M_w = 90\ 000$ . В качестве ПАВ использовался цетилтриметиламмоний бромид (98%, BDH Limited, Великобритания).

**Результаты и их обсуждение.** Процесс комплексообразования в параллельных ламинарных потоках полимеров и ПАВ можно описать уравнениями конвективной диффузии с реакционным компонентом в качестве источникового члена [5]:

$$U \frac{\partial C_A}{\partial l} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial w^2} - k C_A C_B \quad (1)$$

где:  $A+B = C$  – реакция комплексообразования между мономерными звеньями макромолекулы полимера и ионами ПАВ,  $U$  – скорость потока в микроканале (м/с),  $D$  – коэффициент диффузии,  $l$  и  $w$  – длина и ширина микроканала,  $m$ ,  $C_A$  и  $C_B$  – концентрации реагентов.

Без учета реакции уравнение (1) имеет аналитическое решение вида:

$$C(l, w) = \frac{1}{2} C_0 (1 - \operatorname{erf} \frac{w\sqrt{U}}{2\sqrt{Dl}}) \quad (2)$$

где:  $\operatorname{erf}$  – функция ошибок,  $C_0$  – начальная концентрация.

Для  $\psi$ -образного микроканала с боковым расположением потоков реагирующих компонентов и центральным расположением буфера (растворителя) смешение реагирующих веществ будет происходить за счет диффузии макромолекул полимера и молекул поверхностно-активных веществ в центральную часть канала. Не решая уравнение (1) численными методами, можно, тем не менее, оценить расстояние от точки смешения, на котором концентрация компонентов составит некоторое заданное значение:

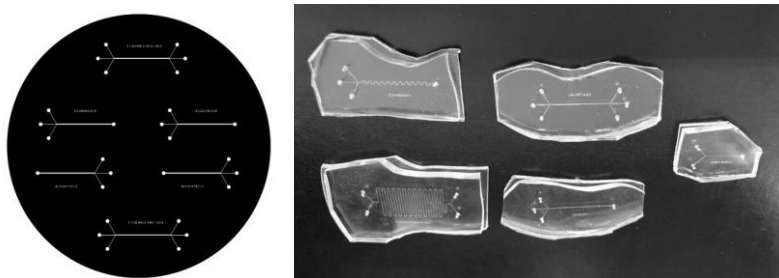
$$\frac{w\sqrt{U}}{2\sqrt{Dl}} = \operatorname{erfinv} \left( \frac{c}{0,5c_0} \right) \quad (3)$$

где:  $\operatorname{erfinv}$  – обратная функция ошибок.

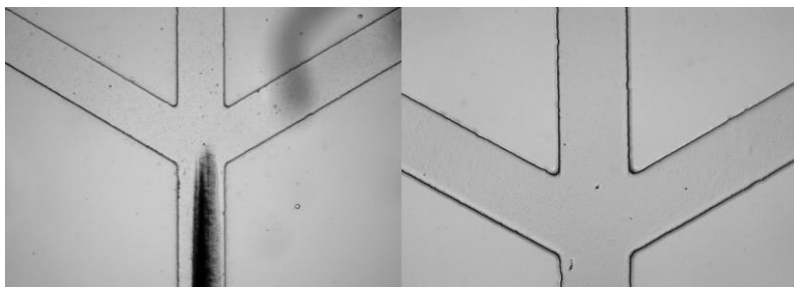
Так, для канала шириной 200 мкм и общего расхода 30 мкл/мин концентрация полимера в центре микроканала составит 5% от исходной (в соответствии с уравнением 3) на расстоянии  $\sim 14$  мм от точки смешения потоков. Можно предположить, что при такой концентрации полимера можно будет наблюдать интенсивный процесс комплексообразования в центре микроканала. Данный подход был использован при проектировании микрофлюидных устройств для изучения процесса ассоциации полимеров и ПАВ (рис. 1). Длина каналов составляла 10-100 мм при ширине 100-300 мкм. Для каждого устройства был подобран соответствующий расход компонентов по уравнению (3) в диапазоне 10-40 мкл/мин.

Решениями уравнений типа (1) для каждого из реагирующих компонентов и продукта реакции будут функции вида  $C(r, l)$ , которые будут характеризовать концентрационное распределение исходных веществ и продуктов реакции по длине и ширине микроканала. При этом соотношение компонентов  $Z = C_A/C_B$  может характеризовать условия, приводящие к формированию нерастворимых комплексов и образованию осадка [6,7]. Так, в «макрообъемных» растворах изученных реагентов при  $Z < 1$  наблюдалось образование нерастворимых комплексов и выпадение осадка.

Регулирование расхода компонентов и, соответственно, скорости потоков в микроканале позволяет подбирать условия, соответствующие макрофазному разделению в системе (рис. 2) или осуществлять процесс смешения компонентов без фазообразования.



**Рисунок 1. Пример фотошаблона для изготовления микрофлюидных устройств (слева) и микрофлюидные устройства с различным расположением микроканалов (справа)**



**Рисунок 2. Микрофлюидный чип с  $\psi$ -образным расположением каналов. Образование осадка (слева) и отсутствие макрофазного разделения (справа) при расходе реагентов менее и более 30 мкл/мин, соответственно**

**Заключение.** Приближенные решения уравнений конвективной диффузии позволяет подбирать параметры для проектирования микрофлюидных устройств для реализации определенного процесса получения супрамолекулярных систем. Аналогичным образом возможно подбирать параметры работы микрофлюидных устройств для регулирования процесса фазообразования внутри микроканала.

### Список литературы:

1. P. Tabeling. Introduction to Microfluidics. – Oxford: Oxford University Press, 2008. – 310 с.
2. Iiescu C., Marculescu C., Venkataraman S., Languille B., Yu H., Tresset G. On-Chip Controlled Surfactant-DNA Coil-Globule Transition by Rapid Solvent Exchange Using Hydrodynamic Flow Focusing // Langmuir. – 2014. – № 30. – С. 13125-13136.



3. Iliescu C., Tresset G. Microfluidics-Driven Strategy for Size-Controlled DNA Compaction by Slow Diffusion through Water Stream // Chemistry of Materials. – 2015. – № 27. – С. 8193-8197.
4. Tresset G., Marculescu C., Salonen A., Ni M., Iliescu C. Fine Control Over the Size of Surfactant-Polyelectrolyte Nanoparticles by Hydrodynamic Flow Focusing // Analytical Chemistry. – 2013. – № 85. – С. 5850-5856.
5. Bethier J., Silberzan P. Microfluidics for Biotechnology, Second Edition. – Artech House: Norwood, USA, 2010. – 483 с.
6. Шилова С.В., Безруков А.Н., Третьякова А.Я., Воронин М.А., Захарова Л.Я., Барабанов В.П. Влияние длины углеводородного радикала ПАВ на ассоциацию катионного полиэлектролита с алкилсульфатами в водно-спиртовых средах // Высокомолекулярные Соединения Сер. А. – 2012. – Т. 54(1). – С. 22-29.
7. Шилова С.В., Безруков А.Н., Третьякова А.Я., Барабанов В.П. Ассоциация додецилсульфата натрия с катионным полиэлектролитом в водно-этанольных средах // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57(6). – С. 38-43.

## 1.4. ЭНЕРГЕТИКА

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА НАЛИЧИЕ ПРОТЕЧЕК В КОРПУСЕ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА**

*Полежаева Анастасия Ивановна*

*аспирант,  
Сибирского федерального университета,  
РФ, г. Красноярск*

### **SUGGESTIONS FOR AUTOMATION OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE PRESENCE OF LEAKS IN THE HULL OF THE SWIVEL-IMPELLER**

*Anastasia Polezhaeva*

*Graduate student,  
Siberian Federal University,  
Russia, Krasnoyarsk*

**Аннотация.** Объектом исследования при написании статьи послужили поворотно-лопастные гидротурбины.

Целью работы является предложение решения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины.

Научная новизна. В данной работе предложен способ контроля за протечками в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса, внедрение которого поможет улучшить экологическое состояние окружающей среды.

В работе раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость, ставятся цели и задачи, необходимые для её реализации. Также выбран способ передачи сигнала из корпуса рабочего колеса на щит управления гидротурбиной и представлены предлагаемые схемы прокладки кабеля и остального оборудования.

**Abstract.** The object of the research when writing the article was rotary-blade hydraulic turbines.

The aim of the work is to propose a solution for the automation of the control system for leaks in the impeller housing of a rotary-blade turbine.

Scientific novelty. In this paper, a method for controlling leaks in the housing of a rotary-blade impeller is proposed, the introduction of which will help to improve the ecological state of the environment.

The work reveals the relevance of the study in the chosen direction, indicates its significance, sets goals and objectives necessary for its implementation. The method of signal transmission from the impeller casing to the hydraulic turbine control panel was also selected and the proposed schemes for laying the cable and other equipment are presented.

**Ключевые слова:** гидроагрегат; поворотнo-лопастное рабочее колесо; «экологически чистая» гидротурбина; оптоволоконный кабель; оптический датчик; оптико-электрический преобразователь.

**Keywords:** hydraulic unit; rotary-blade impeller; “environmentally friendly” hydraulic turbine; fiber optic cable; optical sensor; optical-electric converter.

Поворотнo-лопастные рабочие колеса применяют для осевых и диагональных гидротурбин. Особенностью турбины, обусловившей ее название, является возможность разворота лопастей (которых может быть от 3 до 8 штук). Как правило, в рабочем колесе размещают сервомотор, поршень которого перемещается под давлением масла. Масло в сервомотор поступает от золотника через трубопроводы, маслоприемник и штанги, расположенные внутри вала. Поступательное перемещение поршня через передаточный механизм приводит к повороту лопастей.

Для слива масла из полостей рабочего колеса при его ремонте предусматривают специальный клапан, расположенный в нижней части конуса-обтекателя. Чтобы избежать при работе турбины протечек масла из втулки через зазоры между цапфами и корпусом в камеру рабочего колеса, а также проникновения воды через эти же зазоры внутрь корпуса, по периферии фланца лопасти устанавливают специальные уплотнения, которые при ремонте или ревизии могут быть сняты и заменены без демонтажа лопасти.

В случае нарушений в работе уплотнений лопастей поворотнo-лопастные турбины могут нанести непоправимый вред экологии реки. Турбины этого типа могут содержать во втулке рабочего колеса (РК) несколько тонн масла. Количество поворотнo-лопастных гидротурбин составляет только в России 300 штук, а в общем объеме установленного гидротурбинного оборудования - не менее 15 %.

Основным вопросом, осложняющим эксплуатацию, является возможность протечек масла из рабочего колеса в воду. Из опыта эксплуатации гидротурбинных энергетических установок следует, что до 5% всех аварийных остановов гидроагрегатов связано с нарушением герметичности уплотнений гидротурбин. Устранение возникающих в межремонтный период недопустимых протечек масла требует внепланового вывода агрегатов из эксплуатации для осушки проточной части турбин и проведения ремонтных работ. Простой гидроагрегатов из-за неудовлетворительной герметизации узлов снижают технико-экономические показатели работы оборудования, и изменение этой ситуации возможно при условии создания более эффективных и надежных уплотнений, а также в результате глубокой модернизации эксплуатируемых уплотнительных устройств.

При появлении необходимости создания системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса возникает проблема в выборе типа датчика. Невозможность установки датчика, основанного на передаче радиосигнала, в корпус рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины заключается в наличии так называемой антенны. Так как любая гидротурбина поворотно-лопастного типа содержит турбинное масло, то наличие электрического тока в ней недопустимо. По этой причине такой способ передачи связи как радиосигнал не может быть использован во вращающейся части гидроагрегата.

Альтернативным вариантом передачи сигнала является оптоволоконная связь. Оптоволокно - одно из самых современных и надежных сред передачи данных при прокладке и настройке линий волоконной связи. Она представляет собой многопарный кабель, состоящий из жил, обернутых в специальную оплетку. Жилы производятся из специального полимера - и сделаны таким образом - что ее "стенки" получаются идеально гладкими.

Таким образом, система контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса будет автоматизирована на основе использования двух различных способов передачи сигнала. Непосредственно в корпусе рабочего колеса будет располагаться датчик уровня жидкости, который помимо своей основной задачи, различает жидкую среду в зависимости от её плотности. Это необходимо для определения вида протечек, так как это может оказаться и вода, и масло. Сигнал с этого датчика будет передаваться по оптоволоконному кабелю вверх вдоль вала до уровня маслоприемника, после чего с помощью преобразователя становится радиосигналом и отображается на щите управления.

Таким устройством является преобразователь оптического сигнала в электрический, содержащий параллельно подключенные к двум общим

электрическим шинам, первая из которых является задающим входом преобразователя, фотоячейки, каждая из которых включает последовательно соединенные фоточувствительный элемент и пьезоэлектрический резонатор, каждый из которых имеет отличную от других толщину пьезоэлектрического слоя, причем задающий вход преобразователя является входом широкополосного сигнала, отличающийся тем, что, с целью увеличения точности преобразования путем обеспечения возможности повышения рабочих частот, фотоячейки выполнены на единой полупроводниковой подложке с отверстиями, фоточувствительные элементы выполнены в виде высокочастотных фотодиодов, расположены на одной плоскости с пьезоэлектрическими резонаторами и соединены с ними введенным единым электродом, причем пьезоэлектрический резонатор выполнен в виде заключенного между тонкопленочными металлическими слоями пьезоэлектрического слоя, расположенного на диэлектрической тонкопленочной мембране, которая прикреплена к краям.

Одним из основных достоинств данного проекта является его экономичность. Она заключается в том, что стоимость установки системы контроля для одного гидроагрегата составляет порядка 90 тысяч рублей, что более чем в два раза меньше, чем «экологические штрафы» за загрязнение окружающей среды.

### Список литературы:

1. Демьянов В.А. Расчетно-экспериментальное обоснование конструкции экологичных поворотных лопастных гидротурбин: диссертация ... кандидата технических наук: 05.04.13 / Демьянов Владимир Александрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 151 с.
2. Волков Д.Р. Опыт разработки и внедрения САУ и дистанционного контроля МГЭС / Д.Р. Волков // Гидротехника. – 2016. - № 1. – С. 10.
3. Захаров А.А. Измерительные системы на основе волоконно-оптических датчиков для мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений / А.А.Захаров // Гидротехника. – 2015. – № 3. – С.27.
4. Ю.С. Васильев Машиностроение. IV-20: науч. изд. / Ю.С. Васильев, В.А. Умов, Ю.М. Исаев. – Москва: Машиностроение, 1984. – 584 с.
5. Андреев В.Б. Справочник по гидротурбинам: науч. изд. / В.Б. Андреев, Г.А. Броновский, И.С. Веремсенко. – Москва: Машиностроение, 1984. – 465 с.
6. Броновский Г.А. Технология гидротурбостроения: науч. изд./Г.А. Броновский, А.И. Гольдфарб, Р.К. Фасулати. – Москва : Машиностроение, 1970. – 378 с.
7. Уголовный кодекс Российской Федерации : федеральный закон от 13.06.1996 № 63-ФЗ – Москва 2018. – 224 с.

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/>
9. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>
10. Каталог «Испытательное оборудование» [Электронный ресурс]// АО «ПриСТ». – Режим доступа: <https://prist.ru/>.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

### МЕХАНИКА

#### 2.1. БИОМЕХАНИКА

#### РАЗРАБОТКА БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА РУКИ

##### ***Кречетов Иван Владимирович***

*научный сотрудник,  
Управление научных исследований и разработок,  
Московский Политехнический Университет,  
РФ, г. Москва*

##### ***Скворцов Аркадий Алексеевич***

*начальник,  
Управление научных исследований и разработок,  
Московский Политехнический Университет,  
РФ, г. Москва*

*Исследование финансируется Министерством образования и науки РФ по соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0290 от 28 ноября 2018 года. Тема проекта: “Разработка отечественной линейки роботизированных бионических протезов верхних конечностей, предусматривающей варианты исполнения с учетом различных степеней ампутации руки, с использованием миоэлектрического интеллектуального управления захватом и обеспечением уровня функциональности, близкого к здоровой руке человека” (уникальный идентификатор RFMEFI57718X0290).*

**Аннотация.** Данная работа описывает результаты исследований по разработке новых конструкторских и программно-технических решений в области создания многофункциональных роботизированных

протезов верхних конечностей человека различной степени ампутации с использованием миоэлектрического интеллектуального управления захватом и движением суставов. Рассмотрены подходы к реализации сервоприводов в составе современных бионических протезов, проанализирована кинематика протезов, способы управления и взаимодействия пациента с протезом. Наш подход позволил внедрить сервопривод с циклоидальным редуктором в конструкцию пальца, что позволило достичь в 2 раза большую энерговооруженность (см. Таблица 1) по сравнению с представленными на рынке решениями и может быть использован при разработке как протезов рук и антропоморфных манипуляторов, так и отдельных функциональных узлов роботов. Универсальность разработанного дизайна протеза позволяет использовать отдельные пальцы при изготовлении протезов части кисти, что обеспечивается за счёт встроенного микро сервопривода. Так же были проведены исследования способов передачи обратной связи усилия сжатия предмета, что позволит упростить взаимодействие пользователя с протезом при выполнении быстрой последовательности операций над объектами. В результате установлено, что интуитивно понятным является реализация стерео воздействие на кожный покров пациента при помощи пары вибромоторов, управление фазой и амплитудой (интенсивность) пропорционально развиваемому усилию на контактных поверхностях пальцев протеза. Для раскрытия функционала многосхватного протеза в рамках продолжения работ проводится разработка системы распознавания паттернов мышечной активности с использованием разработанных активных цифровых электродов для регистрации миограммы.

**Ключевые слова:** бионическая кисть; протез верхней конечности; электромиография.

## 1. Введение

### 1.1. Описание проблемы

Миллионы людей в мире (~9.2 млн. человек) страдают от потери верхних конечностей, что приводит к потере трудоспособности, работы, и, как следствие, существенного снижения качества жизни.

Причины утраты верхних конечностей.

- 1) (~57%) Травматические и нетравматические ампутации
- 2) (~39%) Приобретённые заболевания (миодистрофия, контрактуры, паралич конечностей после инсульта)
- 3) (~4%) Врождённые заболевания (мышечная дистрофия Дюшенна, различные формы Амелии).



Эффективными решениями при протезировании верхних конечностей являются электромеханические роботизированные (бионические) протезы, копирующие кинематику и моторику кисти руки здорового человека, в которых каждый палец может двигаться отдельно, позволяя захватывать предметы различных форм.

К примеру, только в США [14] ежегодно проводится до 6000 ампутаций верхних конечностей, доля ампутаций верхних конечностей, что составляет прирост ~3.3 % от общего числа.

Исследователями [3] было году показано, что на момент 2007 года отказ от использования традиционных протезов кисти составляет до 88%. В основном это связано с неудобством пользования, к примеру, для захвата стакана с водой пользователю приходится управлять ориентацией протеза за счёт мышц плечевого пояса, что крайне неудобно и внешне выглядит неуклюже. В то время на рынке ещё не были представлены многофункциональные бионические протезы, позволяющие выполнять множество различных схватов.

## 1.2. Актуальность проблемы

На данный момент подобные высокотехнологичные бионические протезы обладают крайне высокой стоимостью (от 25000\$), что существенно ограничивает их применение в социальной сфере.

Протезы верхних конечностей разделяются на две основные группы:

- 1) Пассивные (косметические и функциональные)
- 2) Активные (тяговые и миоэлектрические)

Косметические протезы представляют собой высококачественный муляж здоровой руки, тем не менее, некоторые действия они позволяют выполнять, например, поддержание и толкание предметов. Стоит отметить, что технологии производства косметических протезов могут быть использованы при изготовлении съёмных оболочек активных протезов.

К функциональным протезам относятся протезы с возможностью смены насадки, которые могут быть выполнены в виде различных инструментов – крюк, зажим, кольцо, гаечный ключ, молоток и др.

Тяговые протезы представляют собой простейшую версию активных протезов и приводятся в движение при помощи сгибания локтевого сустава, вследствие чего обладают ограниченным функционалом за счет всего лишь одного варианта сжатия пальцев.

Электромеханические роботизированные (бионические) протезы являются наиболее эффективными решениями для протезирования, т. к. способны более точно копировать кинематику кисти руки здорового человека за счёт использования нескольких независимых приводов для пальцев. Использование большего числа степеней свободы (как правило 5-6) по сравнению с тяговыми позволяет индивидуально

управлять положением каждого пальца, за счёт чего обеспечивается выполнение сложных взаимных сочетаний движений и реализация разнообразных паттернов захвата. Разнообразие паттернов захватов позволяет пациенту эффективнее захватывать предметы.

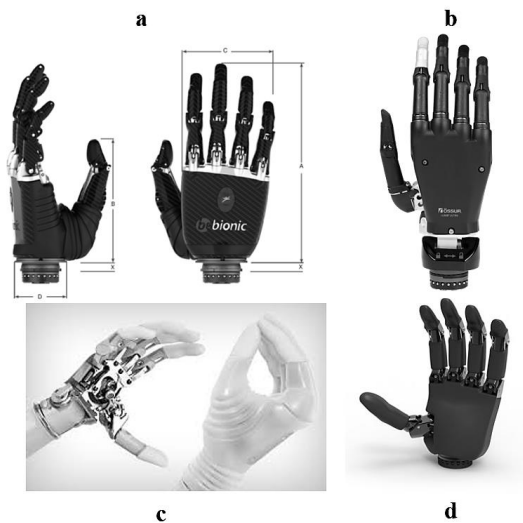
### 1.3. Последние разработки

В последние двадцать лет был достигнут существенный прогресс в разработке разнообразных антропоморфных протезов руки с использованием новейших технологий. Несмотря на это, компромиссы между функциональностью, надежностью, доступностью и внешним видом еще не были до конца устанавлены. Множество существующих разработок [12, 13, 19, 21, 25, 27, 30], в особенности коммерческие протезы рук [1,2 11, 15, 20, 22-24], являются не полноприводными, т. е. имеют дефицит количества приводов по отношению к числу осей вращения и используют для передачи движения кинематические связи.

Разработки в области конструкции бионических протезов верхних конечностей подразделяются на два основных типа:

1) Многосхватные (как правило, все 5 пальцев двигаются свободно при помощи независимых приводов) [11, 12, 15, 24-26].

2) Односхватные (в движение приводятся при помощи одного общего привода) [1, 2,7, 20, 22, 28-29].



**Рисунок 1. beBionic 3 (a), iLimb Ultra (b), Michelangelo (c), VincentEvolution 3 (d)**



**Рисунок 2. System Electric Greifer (a), Electrohand 2000 (b), AxonHook (c), VariPlus Speed (d), SensorHand Speed (e)**

Взаимодействие пациента с протезом осуществляется посредством обработки поверхностной электромиограммы [4-6, 8-10,16-19,25] от остаточных групп мышц, при этом возможна классификация сложных сочетаний активации группы из нескольких мышц, что позволяет выделять дополнительные каналы управления (жесты), которые могут быть использованы для быстрого переключения между несколькими жестами протеза без необходимости использования специальных клавиш на корпусе протеза.

## 2. Описание исследований

### 2.1. Конструкция бионической кисти

В результате анализа конструкций бионических протезов и манипуляторов роботов их можно классифицировать следующим образом с точки зрения способа размещения сервоприводов пальцев:

1) Размещение привода вне конструкции пальца с передачей движения через эластичные тяги.

Как правило, эластичные тяги применяются для передачи движения на большие расстояния при управлении большим числом степеней свободы. В таких случаях приводы размещаются вне конструкции ладони – обычно, внутри предплечья.

Использование подобного подхода при разработке протезов существенно ограничивает варианты исполнения и показания по назначению, и может быть реализовано только в протезах плеча и всей руки.

2) Размещение привода вне конструкции пальца с передачей движения через жесткие тяги [9-11].

Приводы размещаются внутри конструкции ладони и количество таких приводов ограничено габаритами, усилие сжатия протеза по такой компоновке максимальное за счёт более мощных моторов. Как правило, такие протезы выполняются больших размеров, свойственных руке взрослого мужчины

3) Размещения привода внутри конструкции пальца [7-8].

Наиболее универсальный подход к компоновке узлов протеза, позволяет использовать отдельные модули пальцев в составе персонально изготавливаемых протезов кисти для пациентов с частичной или полной ампутацией пальцев руки.

Рассмотрим преимущества и недостатки обеих групп протезов (см. Таблица 1).

**Таблица 1.**

**Преимущества и недостатки вариантов компоновки приводов  
внутри протеза**

<b>Размещение приводов</b>	<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Вне пальца (гибкие тяги)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Простая конструкция, часто используется при разработках с расчётом на изготовление методом 3D печати</li><li>• Возможно реализовать до 18 степеней свободы</li><li>• Подобные решения хороши для установки на робот-манипулятор</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Как правило, приводы размещаются вне корпуса кисти и размещаются в предплечье – такой протез имеет существенные ограничения по использованию и показан пациентам с ампутацией предплечья на 2/3, либо только при протезировании плеча</li><li>• Нельзя использовать при частичном протезировании кисти</li></ul>
Вне пальца (жесткие тяги)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Более высокое усилие сжатия</li><li>• Более надёжная герметизация</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Повышенные габариты ладони</li><li>• Ограниченное количество типоразмеров</li></ul>

## Окончание таблицы 1.

Размещение приводов	Преимущества	Недостатки
Внутри пальца (жесткие тяги)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможно изготовление более сложный протезов части кисти, протезирование отдельных пальцев</li> <li>• Более компактные габариты протеза, больше типоразмеров</li> <li>• Более высокая ремонтпригодность</li> <li>• Освобождается место внутри ладони, возможно размещение дополнительных приводов для большого пальца и для ротации кисти вокруг предплечья</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Как правило, более низкое усилие сжатия по сравнению с моторами внутри ладони</li> <li>• Сложнее герметизация</li> </ul>

В рамках проекта принято решение разработать собственный сервопривод и разместить его внутри проксимальной фаланги пальца.

Варианты исполнения конструкции пальца представлены на рис. 1.

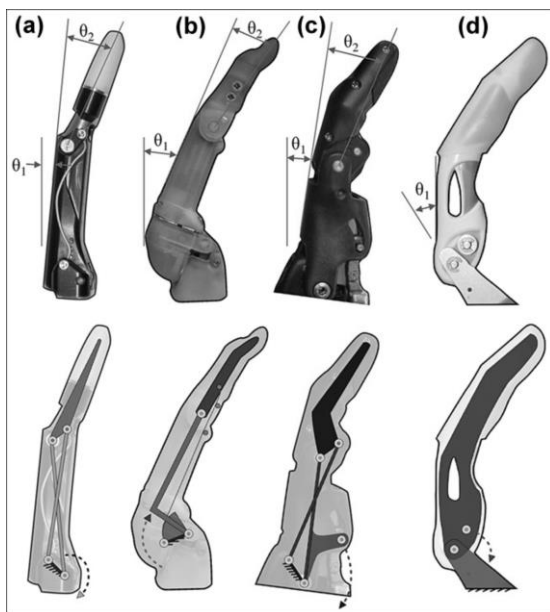


Рисунок 3. Варианты исполнения конструкции пальца протеза

В ходе исследования вариантов реализации редукторов сервоприводов пальцев было принято решение использовать циклоидальный микроредуктор внутри корпуса фаланги пальца и разместить цифровой 14-битный датчик Холла (угла) внутри пальца для точного контроля положения сустава. Такой подход является перспективным с точки зрения принципов построения универсального модуля пальца бионического протеза, который может быть использован как в протезе предплечья, так и в протезе кисти для пациентов с частичной ампутацией пальцев.

Особенностью кинематики пальцев бионических протезов является упрощение кинематической схемы до 2х поворотных шарниров, а не трех как у человеческой руки. Это обусловлено следующими факторами:

1) Сложность установки требуемого коэффициента передачи движения нескольким фалангам от одного привода

2) Увеличение коэффициента трения и, как следствие, снижение коэффициента полезного действия

3) При реализации привода внутри фаланги пальца (проксимальной) геометрические размеры пальца получаются заведомо выше, чем при использовании компоновки приводов вне конструкции пальца. Добавление ещё одной фаланги приводит к существенному увеличению габаритов пальца и самого протеза, превышающими размеры руки человека.

Таким образом, наиболее перспективным вариантом компоновки пальца является реализация двух фаланг.

Было принято решение освободившееся место внутри ладони благодаря размещению приводов внутри пальцев использовать для реализации дополнительных приводов – отведения большого пальца в сторону и вращения кисти вокруг оси (модуль ротатора). Неочевидное преимущество для пациента будет заключаться в том, что независимо от степени ампутации каждому пациенту становится показано наличие модуля ротатора, в то время как в импортных протезах модуль ротации встраивается непосредственно внутри культеприемной гильзы и требует до 80 мм свободного места. Важность наличия ротации кисти очевидна – это позволяет выполнять сложные движения при употреблении и приготовлении пищи.

Таблица 2.

## Сравнение протезов по мощности

Параметр	beBionic 3 (OttoBock)	iLimb Revolution (OSSUR)	Vincent Evolution (VincentSystems)	Наше решение
Время раскрытия ладони, сек	1,0	1,2	1,5	0,5
Максимальное усилие сжатия, Н	128	120	120	130

Как следует из Таблицы 2, разработанная конструкция протеза обеспечивает схожее усилие сжатия, при этом скорость сжатия в 2 раза выше.

Традиционно, в протезах верхних конечностей не используются датчики обратной связи по углу, т. к. их сложно интегрировать в конструкцию пальца и положение пальцев в таких протезах определяется посредством визуальной обратной связи пользователя, т. е. момент окончания движения паттерна пользователь выбирает сам «на глаз». В разрабатываемом модуле бионической кисти каждый палец представляет собой одностепенный манипулятор с встроенным 14-разрядным цифровым датчиком углового положения, что позволяет реализовать позиционно-силовое управление с контролем как развиваемого усилия, так и точного (до 0,05 градуса) следования за заданным положением.

## 2.2. Управление движением

Для формирования сложных движений протеза (паттернов) планируется к реализации наиболее репрезентативный набор паттернов, как правило, являющимся де-факто стандартным именно в данном составе и используется в роботизированных протезах верхних конечностей:

1) Силовой захват всеми пятью пальцами. Происходит сжатие пальцев в кулак. Основной режим работы при выполнении большинства манипуляций, захвата объёмных предметов и переносе сумки.

2) Захват щепотью – противопоставление большого пальца указательному и среднему. Участвуют три пальца (большой, средний, указательный). Как правило, используется протяжённых предметов: ручка, столовые приборы.

3) Ключевой захват – указательный, средний, безымянный и мизинец подгибаются на половину диапазона. Отведённый в сторону большой палец осуществляет прижим объекта к боковой поверхности указательного пальца. Удержание ключей, столовых предметов.

4) Прецизионный захват – большой и указательный пальцы сходятся в точку. Захват мелких предметов.

5) Указка – указательный палец находится в исходном положении при полном сжатии остальных пальцев. Используется при нажатии клавиш.

6) Удержание манипулятора типа мышь – специальный паттерн для обхвата корпуса мышки и нажатия на левую клавишу.

«Отлично». Большой палец поднят вверх при сжатом кулаке. Информативный жест для взаимодействия с окружающими.

7) «Иди ко мне». Периодическое сгибание/разгибание указательного пальца при сжатом кулаке.

8) «Хорошо». Большой и указательный пальцы сведены в одной плоскости образуя кольцо. Средний, безымянный и мизинец отведены в сторону образуя волну.

9) Произвольный пользовательский паттерн – сохранение в базе данных протеза произвольных конфигураций движений пальцев для выполнения специфических задач, либо копирования предустановленного паттерна и более точной подстройки промежуточных значений.

### 3. Результаты

Получены следующие результаты:

*а) Разработаны принципы построения бионических протезов верхних конечностей для протезирования пациентов с частичными ампутациями кисти и предплечья*

В ходе исследования вариантов реализации редукторов сервоприводов пальцев был реализован циклоидальный микроредуктор, компактные размеры которого позволили встроить его внутри корпуса фаланги пальца, а также разместить цифровой 14-битный датчик Холла (угла) внутри пальца. Такой подход является перспективным с точки зрения принципов построения универсального модуля пальца бионического протеза, который может быть использован как в протезе предплечья, так и в протезе кисти для пациентов с частичной ампутацией пальцев.

*б) Разработан алгоритм управления бионическими протезами верхних конечностей*

Система управления сервоприводами осуществляет:

а) Управление направлением вращения выходным валом.

б) Плавность движения с равномерным ускорением в начале движения и торможением в конце движения.

в) Позиционирование шарниров протеза с точностью в 0,044 градуса.

г) Угловую скорость движения поворотных звеньев до 100 градусов/сек.



*в) Разработаны принципы формирования обратной связи пользователя бионического протеза*

Исследованы подходы по воздействию на кожные покровы пользователя при помощи электрического тока и механического воздействия. С точки зрения безопасности и защиты от электрического удара наиболее эффективным и в то же время более информативным является воздействие при помощи двух вибромоторов, размещаемых диаметрально противоположно внутри культеприемной гильзы, оказывая аналог стереоэффекта. Интенсивность вибрации каждого и мотора и их комбинация пропорционально развиваемому усилию сжатия протеза позволяет не только ощущать силу сжатия, но и представляет собой удобный тактильный интерфейс оповещения пользователя о статусе работы протеза.

#### 4. Заключение

Особенностью конструкции бионического протеза является использование вновь разрабатываемых микросервоприводов, размещаемых внутри конструкции пальцев и обеспечивающих суммарное усилие сжатия объекта на уровне 130Н при времени полного сжатия не превышающим 1 секунды, что соответствует характеристикам лучших образцов бионических протезов, представленных на международном рынке. Такая высокая энерговооружённость обеспечивается двумя факторами. Во-первых, использование специальных щеточных микроэлектродвигателей размером 12x15мм с ротором, выполненным в виде полого цилиндра, что обеспечивает высокий удельный момент. Во-вторых, использование вновь разрабатываемого редуктора, выходная ступень которого является циклоидальным редуктором. Реализация серводвигателей непосредственно внутри конструкции пальца предоставляет два ключевых преимущества над аналогичными изделиями:

1) Освободившееся место в конструкции ладони разрабатываемого протеза используется для размещения дополнительного сервопривода, так называемого ротатора. Устройство вращения кисти вокруг оси – пронация/супинация. На данный момент при изготовлении протезов используются электромеханические ротаторы. Однако, их использование показано не при всех диагнозах, т. к. требуется дополнительно до 70 мм свободного пространства для установки модуля внутри культеприемной гильзы.

2) Возможность индивидуального протезирования отдельных пальцев и их произвольной конфигурации, путём изготовления специальной приемной гильзы, одеваемой поверх ладони пациента.

Особенностью управления разрабатываемым бионическим протезом является использование пропорциональных команд управления, формируемых в соответствии с уровнем напряжения остаточных мышц при помощи многоканальной системы регистрации биопотенциалов.

Разрабатываемые принципы построения конструктивно-компоновочных решений в области сервоприводов с высоким моментом на выходном валу, а также методы и алгоритмы управления движением приводов могут быть использованы при реализации продукции, находящейся на стыке нескольких технологических направлений:

1) Биоэлектрические протезы верхних конечностей для различных степеней ампутации кисти, предплечья, плеча и вычленения плеча

2) Биоэлектрические протезы нижних конечностей (роботизированные модули колена, стопы) для пациентов с различной степенью ампутации голени и бедра.

3) Манипуляторы сервисных и коллаборативных роботов для использования в домашнем хозяйстве и решения задач бизнеса

4) Экзоскелеты верхних и нижних конечностей для использования в реабилитационной медицине

Разрабатываемые методы многоканальной регистрации и обработки биопотенциалов мышечной активности могут быть использованы при разработке более широкого класса устройств:

1) Персональный переносной электрокардиограф для ранней диагностики и предсказания кризисных ситуаций сердечно-сосудистой системы пациента

2) Человеко-машинный интерфейс взаимодействия на основе обработки электроэнцефалограммы

При разработке системы регистрации биопотенциалов будет реализован набор активных поверхностных электродов, размещаемых непосредственно на поверхности кожи. При таком подходе снижается воздействие электромагнитных помех от внешних устройств, а также влияние потребителей питания, например, электродвигателей протеза, благодаря гальванической развязке цифровой линий связи между встраиваемым модулем управления протезом и модулем многоканальной обработки биопотенциалов. Возможно соединение в цепь произвольного числа электродов для захвата сигналов с распределённых групп мышц. Использование более 2х электродов позволяет выделять дополнительные каналы управления – распознавание отдельных жестов.

### Список литературы:

1. AxonHook. Available at: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/axon-hook/> (accessed 28 October 2019).

2. beBionic 3 User Guide. Available at: [https://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/files/14112\\_bebionic\\_user\\_guide\\_lo.pdf](https://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/files/14112_bebionic_user_guide_lo.pdf) (accessed 28 October 2019).
3. Biddiss E., & Chau T. Upper-limb prosthetics: critical factors in device abandonment. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2007. Vol. 186. No. 12. P. 977-987.
4. Boostani R., Moradi M.H. Evaluation of the forearm EMG signal features for the control of a prosthetic hand. *Physiological measurement*. 2003. Vol. 24. No. 2. P. 309.
5. Chan F.H.Y. et al. Fuzzy EMG classification for prosthesis control. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*. 2000. Vol. 8. No. 3. P. 305-311.
6. Chu J.U., Moon I., Mun M.S. A real-time EMG pattern recognition system based on linear-nonlinear feature projection for a multifunction myoelectric hand. *IEEE Transactions on biomedical engineering*. 2006. Vol. 53. No. 11. P. 2232-2239.
7. Electrohand 2000. Available at: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/electrohand-2000-for-children/> (accessed 28 October 2019).
8. Hiraiwa A. et al. EMG pattern recognition by neural networks for prosthetic fingers control-Cyber finger. *Proc. Int'l. Symp. Measurement and control in Robotics*. 1992. P. 535-542.
9. Huang H.P. et al. EMG classification for prehensile postures using cascaded architecture of neural networks with self-organizing maps. *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference on. IEEE, 2003*. Vol. 1. P. 1497-1502.
10. Huang H.P., Chen C.Y. Development of a myoelectric discrimination system for a multi-degree prosthetic hand. *Robotics and Automation, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference on. IEEE, 1999*. Vol. 3. P. 2392-2397.
11. iLimb Ultra Information Sheet. Available at: <https://www.ossur.com/library/40545/i-Limb%20Ultra%20Information%20Sheet%20-%20.pdf> (accessed 28 October 2019).
12. Lin G.D. et al. Development of multi-fingered dexterous hand for grasping manipulation. *Science China Information Sciences*. 2014. Vol. 57. No. 12. P. 1-10.
13. Liu H. et al. Development of a multi-DOF prosthetic hand with intrinsic actuation, intuitive control and sensory feedback. *Industrial Robot: An International Journal*. 2014. Vol. 41. No. 4. P. 381-392.
14. McGimpsey G., Bradford T.C. Limb Prosthetics Services and Devices Critical Unmet Need: Market Analysis. Available at: [http://www.nist.gov/tip/wp/pswp/upload/239\\_limb\\_prosthetics\\_services\\_devices.pdf](http://www.nist.gov/tip/wp/pswp/upload/239_limb_prosthetics_services_devices.pdf) (accessed 28 October 2019).

15. Michelangelo brochure. Available at: <https://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/michelangelo/files/michelangelo-brochure.pdf> (accessed 28 October 2019).
16. Oskoei M.A., Hu H. GA-based feature subset selection for myoelectric classification. Robotics and Biomimetics, 2006. ROBIO'06. IEEE International Conference on. IEEE, 2006. P. 1465-1470.
17. Oyama T. et al. Recognition of wrist motion pattern by EMG. SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference. IEEE, 2006. P. 599-603.
18. Phinyomark A. et al. Evaluation of EMG feature extraction for hand movement recognition based on Euclidean distance and standard deviation. Electrical engineering/electronics computer telecommunications and information technology (ecti-con), 2010 international conference on. IEEE, 2010. P. 856-860.
19. Pogărașteanu M.E. et al. Bionic hand exoprosthesis equipped with sensory interface: technical innovations and functional results. The Publishing House of the Romanian Academy. 2014.
20. SensorHand Speed and VariPlus Speed. Available at: [https://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/speedhands/prosthesis\\_systems\\_information\\_for\\_practitioners.pdf](https://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/speedhands/prosthesis_systems_information_for_practitioners.pdf) (accessed 28 October 2019).
21. Srinivasa P.L. et al. Development of two degree of freedom (DoF) bionic hand for below elbow amputee. Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013. P. 1-6.
22. System Electric Greifer. Available at: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/system-electric-greifer/> (accessed 28 October 2019).
23. Taska Prosthetics. Taska hand. Available at: <http://www.taskaprosthetics.com/the-taska/features/> (accessed 28 October 2019).
24. The touch sensing hand prosthesis of the next generation. Vincent Systems. Available at: <https://vincentsystems.de/en/prosthetics/vincent-evolution-2/> (accessed 28 October 2019).
25. Wang G. et al. Classification of surface EMG signals using optimal wavelet packet method based on Davies-Bouldin criterion. Medical and Biological Engineering and Computing. 2006. Vol. 44. No. 10. P. 865-872.
26. Wang H., Fan S., Liu H. An anthropomorphic design guideline for the thumb of the dexterous hand. Mechatronics and Automation (ICMA), 2012 International Conference on. IEEE, 2012. P. 777-782.
27. Xu K. et al. A single-actuator prosthetic hand using a continuum differential mechanism. Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015. P. 6457-6462.
28. Zardoshti-Kermani M. et al. EMG feature evaluation for movement control of upper extremity prostheses. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering. 1995. Vol. 3. No. 4. P. 324-333.

29. Zhang X. et al. A framework for hand gesture recognition based on accelerometer and EMG sensors. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 1064-1076.
30. Zuniga J. et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. BMC research notes. 2015. Vol. 8. No. 1. P. 10.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXIX международной  
научно-практической конференции*

№ 10 (29)  
Декабрь 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 12.12.19. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 2,875. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru