

# АВТОМАТИКА и ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

2016 N 1(15)

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

**Редакционная коллегия:**

<b>Александр Валерьевич Ляпидевский</b>	Директор ПАО «Новосибирский институт программных систем» (ПАО «НИПС»), к.э.н., <b>Россия</b>
<b>Анатолий Сергеевич Востриков</b>	Профессор кафедры Автоматики НГТУ, д.т.н., Заслуженный преподаватель РФ, академик МАН ВШ, <b>Россия</b>
<b>Евгений Борисович Цой</b>	Заслуженный работник НГТУ, профессор, д.т.н. Новосибирский государственный технический университет, <b>Россия</b>
<b>Владимир Иванович Гужов</b>	Профессор кафедры ССОД, Новосибирский государственный технический университет, <b>Россия</b>
<b>Shiva S. Mahapatra</b>	Professor in the Department of Mechanical Engineering, NIT Rourkela, <b>India</b>
<b>Hubert Roth</b>	Head of the Department of Automatic Control Engineering of University of Siegen, Professor, <b>Germany</b>
<b>You Bo</b>	Director of Institute of Robotics and Automation Technology, Dean of School of Automation, Professor, Harbin University of Science and Technology, <b>China</b>
<b>Любомир Ванков Димитров</b>	Декан машиностроительного факультета Технического университета Софии, доктор, профессор, <b>Болгария</b>
<b>Ярослав Носек</b>	Профессор факультета мехатроники, информатики и междисциплинарного образования Технического университета г. Люберец, доктор, <b>Чехия</b>
<b>Петр Тума</b>	Профессор факультета мехатроники, информатики и междисциплинарного образования Технического университета г. Люберец, доктор, <b>Чехия</b>
<b>Неъматжон Рахимович Рахимов</b>	Руководитель лаборатории «Оптоэлектронного метода неразрушающего контроля» СГГА, профессор, д.т.н., <b>Россия, Узбекистан</b>
<b>Геннадий Павлович Цапко</b>	Профессор кафедры автоматике и компьютерных систем Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИТПУ), директор Научно-образовательного центра CALS-технологий, профессор, д.т.н., академик Международной академии информатизации, <b>Россия</b>
<b>Александр Максимович Малышенко</b>	Профессор кафедры интегрированных компьютерных систем управления НИТПУ, д.т.н., академик МАН ВШ и Академии электротехнических наук РФ, <b>Россия</b>

<b>Александр Александрович Воевода</b>	Профессор кафедры Автоматики НГТУ, д.т.н., академик МАН ВШ, <b>Россия</b>
<b>Вадим Яковлевич Копп</b>	Заведующий кафедрой автоматизированных приборных систем Севастопольского национального технического университета, Заслуженный деятель науки и техники Украины, д.т.н., профессор, Севастополь, <b>Россия</b>
<b>Евгений Владимирович Рабинович</b>	Профессор кафедры Вычислительной техники НГТУ, д.т.н., профессор, <b>Россия</b>
<b>Михаил Геннадьевич Гриф</b>	Заведующий кафедрой Автоматизированных систем управления НГТУ, д.т.н., профессор, <b>Россия</b>
<b>Vimal J. Savsani</b>	Associate Professor at V. N. Gardi college of engineering and technology, Surat, <b>India</b>
<b>Борис Дмитриевич Борисов</b>	Заведующий лабораторией Института Лазерной физики СО РАН (ИЛФ СО РАН), д.т.н., <b>Россия</b>
<b>Сергей Леонидович Миньков</b>	Заведующий кафедрой информационного обеспечения инновационной деятельности Национального исследовательского университета «Томский государственный университет», к.ф.-м.н., ст. н. сотр., чл.-корр. МАИ, <b>Россия</b>
<b>Борис Викторович Поллер</b>	Заведующий лабораторией Института Лазерной физики СО РАН (ИЛФ СО РАН), д.т.н., <b>Россия</b>
<b>Татьяна Владимировна Авдеенко</b>	Заведующий кафедрой Экономической информатики НГТУ, профессор, д.т.н., <b>Россия</b>
<b>Баярын Бат-Эрдэнэ</b>	Заместитель директора по научным исследованиям и инновациям Энергетического Института Монгольского государственного университета науки и технологии, к.т.н. асс. профессор. <b>Монголия</b>
<b>Түдэвдагвын Уранчимэг</b>	Профессор Института Энергетики, Доктор Технические наук, Член докторского диссертационного совета по информатике и связи Монголий, МГУНиТ Член высшего научного совета МГУНиТ, Член научного совета Института Энергетики, <b>Монголия</b>
<b>Анатолий Михайлович Корилов</b>	Зав. кафедрой автоматизированных систем управления и радиоэлектроники ТУСУРа, профессор, д.т.н., акад. МАН ВШ, специалист в области системного анализа и ТАУ. <b>Россия</b>
<b>Виталий Сергеевич Щербаков</b>	Декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника», д.т.н., профессор СибАДИ, Омск, <b>Россия</b>
<b>Алексей Александрович Руппель</b>	И.о. зак. каф. АППиЭ, к.т.н., доцент СибАДИ, Омск, <b>Россия</b>
<b>Сэнгэ Самбуевич Ямпиров</b>	Профессор каф. «Биомедицинская техника» ПАПП, д.т.н., Улан-Удэ, <b>Россия</b>
<b>Владимир Иванович Гололобов</b>	Руководитель лаборатории ПАО «НИПС», к.т.н., <b>Россия</b>

<b>Константин Витальевич Змеу</b>	Доцент, к.т.н., Заведующий кафедрой Технологий промышленного производства, Инженерной школы Федерального дальневосточного университета, Владивосток, Россия
<b>Thierry Chateau</b>	Head of Department, Professor, Institutute Pascal, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, <b>France</b> .
<b>Wolfram Hardt</b>	Prodekan für Internationales, Direktor Universitätsrechenzentrum, Professor für Technische Informatik, Technische Universität Chemnitz, <b>Germany</b>
<b>Виктор Петрович Мельчинов</b>	К.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой радиотехники и информационных технологий Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Якутск, <b>Россия</b>
<b>Вячеслав Николаевич Федоров</b>	К.т.н., доцент кафедры радиотехники и информационных технологий Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Якутск, <b>Россия</b>
<b>Ульяна Анатольевна Михалёва</b>	К.т.н., заведующий кафедрой «Многоканальные телекоммуникационные системы» Технологического института ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, Якутск, <b>Россия</b>
<b>Николай Дмитриевич Поляхов</b>	Д.т.н., профессор, СПбГЭТУ, член редакционной коллегии журнала «Электричество», член экспертного совета ВАК РФ. Санкт-Петербург, <b>Россия</b>
<b>Олег Владимирович Стукач</b>	Д.т.н., профессор, Заведующий кафедрой Компьютерных измерительных систем и метрологии Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, <b>Россия</b>
<b>Алексей Дмитриевич Припадчев</b>	Д.т.н., профессор, Заведующий кафедрой летательных аппаратов ФГБОУ ВПО «Ориенбургский государственный университет», Аэрокосмический институт, Оренбург, <b>Россия</b>
<b>Анастасия Дмитриевна Стоцкая</b>	К.т.н., доцент, зам. зав. кафедрой Систем автоматического управления, Санкт-Петербургский Электротехнический университет (ЭТУ ЛЭТИ), Санкт-Петербург, <b>Россия</b>
<b>Михаил Витальевич Калинин</b>	Руководитель отдела ПАО «НИПС», <b>Россия</b>

УДК 681.2; 681.3; 681.5; 681.7

Автоматика и программная инженерия (Automatics & Software Enginery) № 4(14), 2015,  
ISSN 2312-4997. Основан в июне 2012 г.

**Учредитель журнала:**

Открытое акционерное общество «Новосибирский институт программных систем»  
Сайт организации: [www.nips.ru](http://www.nips.ru)

Свид. о регистрации ПИ № ФС77-55079

**Адрес редакции:**

630090, Россия, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 6/1,  
ОАО «НИПС», заместителю директора по науке

e-mail: [oaonips@bk.ru](mailto:oaonips@bk.ru)  
web: <http://www.jurnal.nips.ru/>

Подписано в печать 22 апреля 2016 г.

## Оглавление

<b>I. Автоматика. Автоматизированные системы.....</b>	<b>7</b>
Разработка интеллектуального управления системой «ДПТ-Генератор».....	9
Автоматизация в мелкосерийном и единичном производстве.....	14
<b>II. Робототехника. Электроника. Программные средства и системы. ..</b>	<b>22</b>
Моделирование распределенного оптоволоконного датчика в Labview с целью повешения пространственного и температурного разрешения .....	24
Графический OLED дисплей UG-2864ASGGG14: первое включение .....	29
Разработка алгоритмов раскачки и стабилизации обратного маятника, закрепленного на валу двигателя .....	38
<b>III. Инновационные технологии. Перспективные технологии.</b>	
<b>Моделирование систем. Численная оптимизация.....</b>	<b>44</b>
Структуры и методы цифрового управления колебательными объектами.....	46
Вычисление желаемых коэффициентов характеристического уравнения замкнутой системы автоматического управления .....	58
<b>IV. Измерительные средства и системы. Идентификация. Телемеханика и телеметрия. ....</b>	<b>67</b>
Вейвлет-фильтрация с двухпараметрическими пороговыми функциями: выбор функции и оценивание оптимальных параметров.....	69
Перспективы развития систем для мониторинга сейсродинамики скальных пород .....	79
Представление преобразования Френеля в дискретной форме .....	91
Область возможного применения дискретных преобразований Фурье и Френеля.....	97
<b>V. Популярные статьи. Введение в специальность. ....</b>	<b>104</b>
О методах повышения количества, качества и полезности научных публикаций и объектов интеллектуальной собственности.....	106
<b>VI. Дискуссии. Форум. К сведению авторов.....</b>	<b>112</b>
О новых представлениях физической сути кванта М. Планка, света, излучений и строения элементарных частиц .....	114
Дисперсионная трактовка эффекта Хаббла .....	131
Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия» .....	149
Content .....	152

**I. Автоматика.  
Автоматизированные системы.**

## Содержание раздела:

- ❖ К.Ю. Ласточкин, И.О. Приходько. Разработка интеллектуального управления системой «ДПТ-Генератор» (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 9–13.
- ❖ Л.В. Димитров, В.А. Жмудь. Автоматизация в мелкосерийном и единичном производстве. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 14–21.



# Разработка интеллектуального управления системой «ДПТ-Генератор»

К.Ю. Ласточкин, И.О. Приходько  
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** рассматривается вопрос управления нелинейной системой «двигатель постоянного тока – генератор» с помощью управления с прогнозирующими моделями, выраженного в явной форме. Приводятся использованные параметры синтеза регулятора, модель объекта, также приведены результаты реального управления системой.

**Ключевые слова:** управление с прогнозирующими моделями, интеллектуальное управление, двигатель постоянного тока, нелинейный объект.

## ВВЕДЕНИЕ

На практике часто возникает задача управления двигателями, в том числе двигателями постоянного тока. Такие системы находят применение в проектировании рук роботов, при организации гибкой сцепки между двигателем и инструментом, в расчетах систем амортизации, а также для симуляции процессов с низкочастотными колебаниями в осях, например, учета гибкости канатов в лифтовых шахтах высотных зданий. В статье рассматривается способ организации управления системой «двигатель постоянного тока – генератор».

Представленная система имеет в своем составе нелинейности. Управление нелинейной системой производится с помощью метода интеллектуального управления на основе управления с прогнозирующими моделями, выраженного в явной форме. Данный метод был разработан на основе метода управления с прогнозирующими моделями. Модификации были внесены для устранения таких недостатков оригинала, как высокие требования к вычислительной мощности системы и к скорости контролируемого процесса [1].

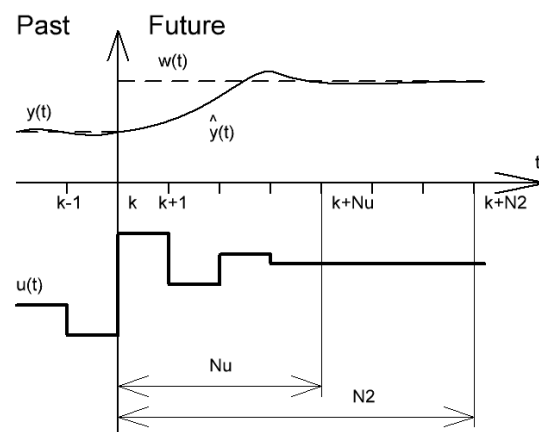
Метод управления с прогнозирующими моделями (УПМ) позволяет производить управление в относительно большом количестве реальных процессов и применяется в промышленности. Регуляторы, синтезированные с помощью УПМ, оказываются гораздо более эффективными, чем полученные с помощью классических методов управления [1]. Одним из главных недостатков на сегодняшний момент является требование к точному знанию модели, из-за того, что прогноз состояния объекта базируется именно на процессах, протекающих в модели. Однако практика показывает, что зачастую для удовлетворительного

регулирования достаточно использовать упрощенную модель системы [2].

В работе рассматривается возможность применения данного подхода к управлению системой «двигатель постоянного тока – генератор».

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ

Принцип работы УПМ наглядно проиллюстрирован на *Рис. 1*. Как становится ясно из названия метода, система пытается прогнозировать свое будущее развитие, так называемые горизонт прогноза и горизонт управления ( $N_u$ ,  $N_2$ ), строящиеся на знании модели системы. УПМ предсказывает значение выходного сигнала  $\hat{y}(t)$  для всего горизонта предсказаний на основе прошлых значений входа  $u(t)$ , выхода  $y(t)$  и времени  $t$ , а также задаваемой траектории  $w(t)$  [1].



*Рис. 1.* Принцип работы УПМ

В управлении с прогнозирующими моделями управляющее воздействие получается решением задачи оптимального управления по нахождению конечного горизонта разомкнутого контура для каждой выборки. Решение этой задачи каждый раз порождает последовательность оптимальных управляющих воздействий (на протяжении всего горизонта управления), но только первое из них применяется к процессу. На следующей выборке вычисление повторяется снова на основе сдвинутого временного горизонта, принимая наиболее актуальную информацию о состоянии системы в качестве новых начальных условий для

задачи оптимального управления.

Управление с прогнозирующими моделями, как описано в предыдущем пункте, требует выполнять алгоритм оптимизации на каждом шаге  $t$  для текущего состояния системы  $x(t)$ , чтобы осуществить оптимальное управление. Этот расчет выполняется в режиме реального времени, и за счет этого требования к вычислительной мощности контроллера ужесточаются. Для быстрых систем решение задачи оптимизации в относительно короткое время становится затруднительным, поэтому классический УПМ обычно используется, как способ борьбы медленными процессами.

Решать эту проблему призвано явно заданное интеллектуальное управление (ЯИУ), основанное на методе УПМ. Основное отличие от классического УПМ заключается в том, что при использовании ЯИУ задача оптимального управления решается офлайн для всего пространства состояний системы  $x(t) \in X$ , и на базе этого решения зависимость  $u(t)$  от  $x(t)$  описывается явно, а не косвенно определяется процедурой оптимизации.

$$u^* = k(x). \quad (1)$$

Согласно [2], контроллер  $k(x)$ , определяется аналогично классическому УПМ, и решение задачи оптимизации ищется в виде минимизации квадратичного критерия (1). Для ЯИУ, в отличие от УПМ, приходится находить решение для всех возможных состояний  $x(t)$ , а не только для текущего состояния системы, поэтому для решения используется многопараметрическое квадратичное программирование [1]. Результат решения задачи оптимизации выражается в форме (1) и представляет собой непрерывный, кусочно-линейный закон управления.

$$u(x) = \begin{cases} F_1 x + g_1, & \text{при } H_1 x \leq k_1 \\ \dots \\ F_M x + g_M, & \text{при } H_M x \leq k_M \end{cases} \quad (2)$$

где  $H_i$  и  $k_i$  являются параметрами, описывающими некоторую область пространства состояний  $x(t)$ . Эти области называются критическими регионами, в каждом из которых закон управления выражается собственной непрерывной линейной функцией. В процессе функционирования объект оказывается в одном из регионов, и на основании этого выбирается соответствующий закон управления [1].

Процесс создания регионов происходит следующим образом. Сначала решается задача оптимизации для выбранных начальных условий, а затем вокруг строится критическая область. Затем алгоритм исследует весь регион и постепенно создает еще один новый критический регион. По результатам расчетов создается таблица линейных функций и соответствующих

им регионов.

Поиск для конкретных регионов осуществляется в режиме реального времени, для чего необходимо знать вектор состояний системы  $x(t)$ , который, обычно, неизмерим. Следовательно, требуется проводить оценку этих состояний. Таким образом, интеллектуальный контроллер дополняется наблюдателем состояния, который позволяет определить текущее состояние системы, и обеспечить своевременное переключение между управляющими воздействиями при переходе между критическими регионами [2].

### ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В качестве объекта управления используется система «Двигатель постоянного тока – Генератор», схема которой представлена на Рис. 2. Система состоит из двигателя постоянного тока  $M$ , соединенного упругой муфтой  $EC$  с генератором  $G$ , напрямую соединенным с тахогенератором  $SM$  [3].

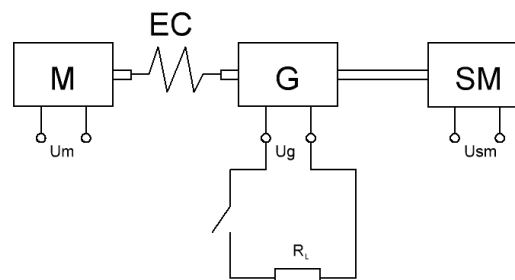


Рис. 2. Схема системы «ДПТ-Генератор»

Статическая характеристика, а также передаточная функция, характеризующая линейную часть, представлены на Рис. 3 и в (3) соответственно.

$$F(p) = \frac{1,305}{0,004028p^3 + 0,05971p^2 + 0,1768p + 1}. \quad (3)$$

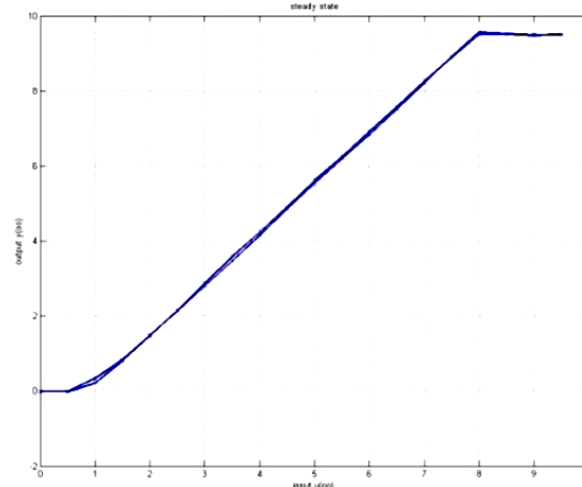


Рис. 3. Статическая характеристика объекта

### ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ С РЕГУЛЯТОРОМ

Для реализации метода явно заданного интеллектуального управления в среде *Matlab Simulink* используется библиотека *Hybrid Toolbox*, написанная в 2003 году, постоянно модернизируемая и условно - бесплатно распространяемая создателем Альберто Бемпорадом [4]. Модель в среде *Matlab Simulink* выглядит следующим образом (Рис. 4). В качестве входа и выхода реального объекта используются элементы библиотеки *Real-Time Windows Target*, подключенные плате аналоговых входов-выходов. Для корректной работы элемента «*Explicit Linear Controller*» (Рис. 4) необходимо определить явный закон управления в соответствии с соотношением (2).

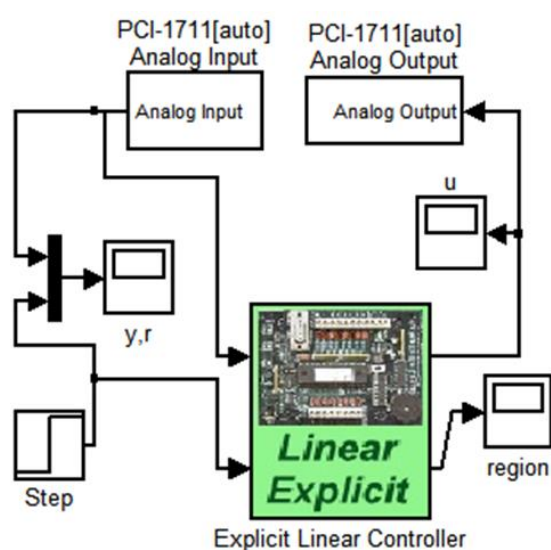


Рис. 4. Модель системы с регулятором

Самым удобным способом задать параметры для синтеза контроллера является написание скрипта на языке *Matlab*. Параметры, использованные для синтеза итогового регулятора, приведены на Таблице 1. Значения параметров определены согласно [5].

Таблица 1. Параметры настройки синтеза регулятора

Параметр	Значение	Пояснение
<b>Ts</b>	0.1	Шаг дискретизации при получении цифровой модели
<b>Cost.S</b>	10	Весовой коэффициент выходных переменных
<b>Cost.T</b>	0.1	Весовой коэффициент на увеличение входа

<b>N</b>	10	Горизонт прогноза
<b>Nu</b>	2	Горизонт управления
<b>Limits</b>	0÷10	Ограничение на входное воздействие
<b>Range.x</b>	-100÷100	Размер учитываемой при синтезе области пространства состояний
<b>Range.y</b>	-10÷10	Ограничения на выходную переменную
<b>reltol</b>	10-6	Параметр останова
<b>qp solver</b>	'qpact'	Выбор способа решения квадратичной программы

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате моделирования были получены следующие зависимости: задающего воздействия и выходной величины от времени (Рис. 5), управляющее воздействие от времени (Рис. 6).

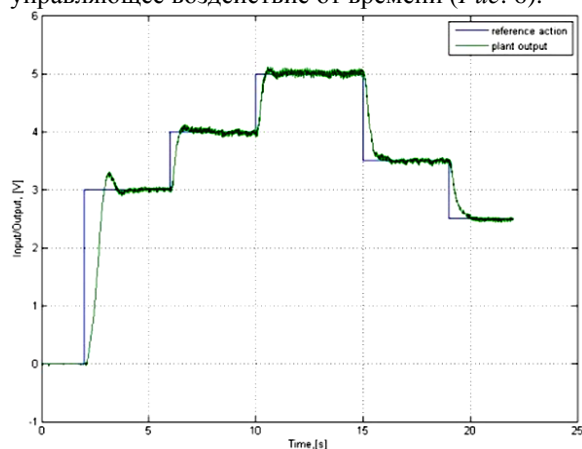


Рис. 5. Зависимость входа и выхода системы от времени

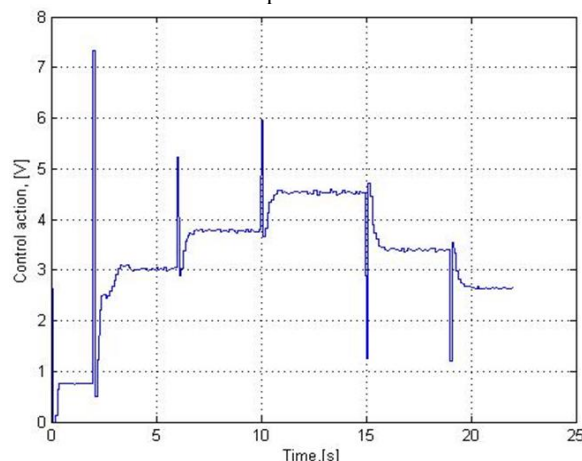


Рис. 6. Зависимость управляющего воздействия от времени

Также представлен результат деления области состояний на регионы (Рис. 7), отклик системы на ступеньку (Рис. 8).

Как видно из графика, представленного на Рис. 8, система успешно обрабатывает скачки входного воздействия и приводит объект к заданному состоянию, некоторая неточность сигнала накладывается шумами, воздействующими на выход объекта. Время

переходного процесса  $t_{\text{пр}} = \sim 0,8$  с, перерегуливание  $\sigma = \sim 5\%$  (Рис. 8).

На первое изменение управляющего воздействия система реагирует хуже ( $\sigma = \sim 1,5$  с, перерегуливание  $\sigma = \sim 8\%$ ), это вызвано необходимостью преодолеть пусковой момент мотора в момент старта.

На Рис. 7 видно, что в результате синтеза выделено 7 критических регионов в трехмерном пространстве состояний.

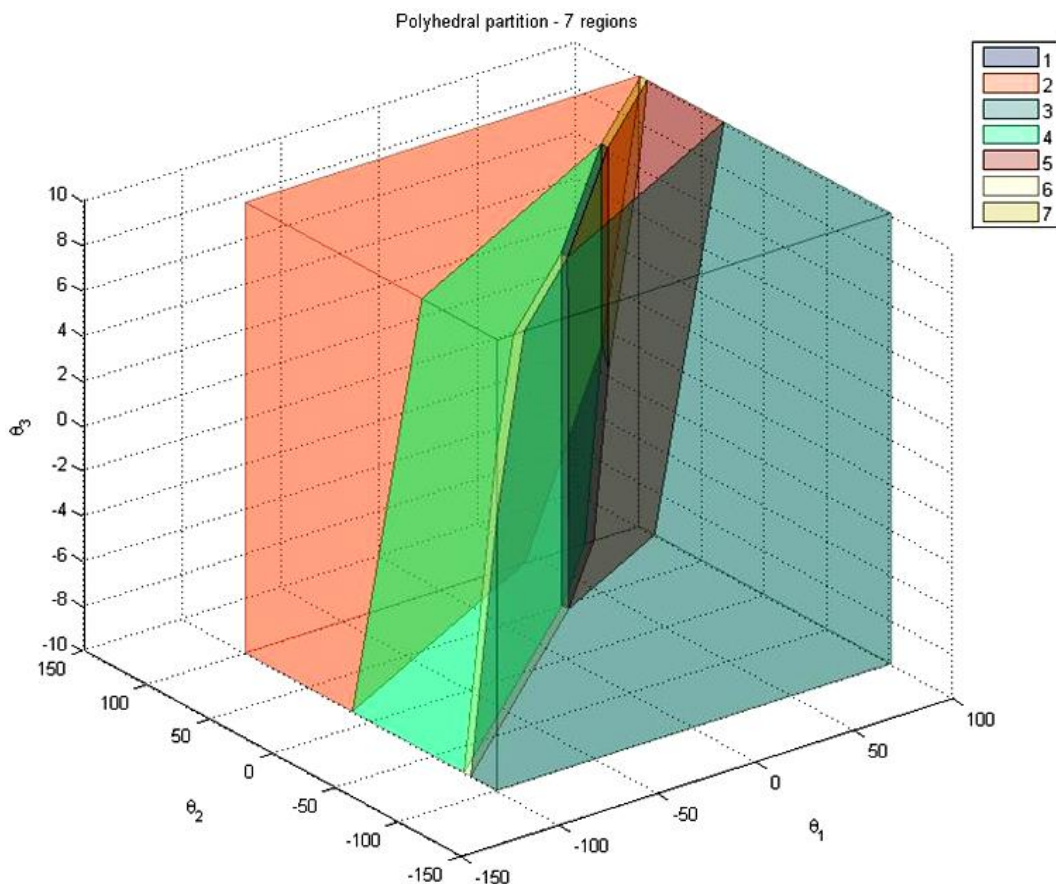


Рис. 7. Деление пространства состояний на регионы

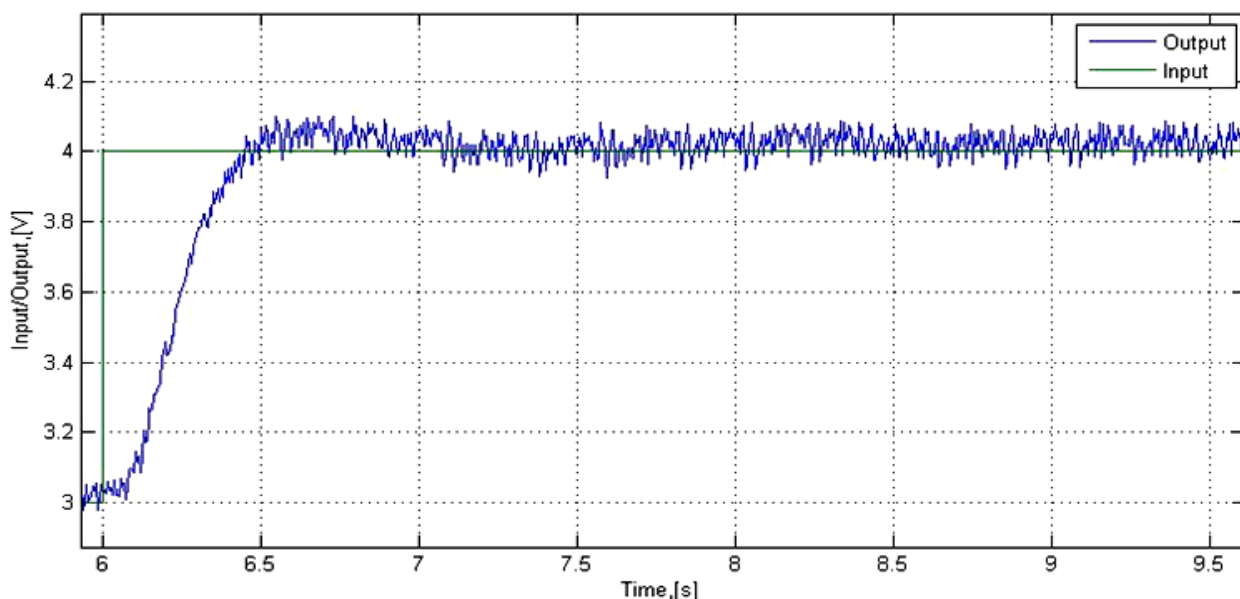


Рис. 8. Отклик на ступенчатое воздействие

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был рассмотрен один из способов управления системой «двигатель постоянного тока – генератор». Закон управления, синтезированный с помощью явно-заданного интеллектуального управления на основе прогнозирующих моделей, представляет собой кусочно-непрерывный линейный закон.

Сравнение результатов моделирования с регулятором на основе управления с прогнозирующими моделями и результатов применения ПИД-управления и робастного управления показало, что для данной системы выбранный метод управления обеспечивает более быстрое приведение выхода объекта к желаемым значениям.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Magni, L. Nonlinear model predictive control: towards new challenging applications. Berlin: Springer, 2009, p. 345-369. ISBN 978-3-642-01094-1
- [2] Maciejowski, J. M. Predictive control: with constraints. New York: Prentice Hall, 2002, XVIII, 331 p. ISBN 02-013-9823-0.
- [3] Modrlak, O., Hubka, L., Gartner, S., Worlitz, F. Rotational Speed Control DC Motor with load. Liberec: TUL, 2012.
- [4] Bemporad, A. Hybrid Toolbox User's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/publications/cgi-bin/hybtbx\\_download.cgi](http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/publications/cgi-bin/hybtbx_download.cgi)
- [5] Kopal, M. Explicit Model Predictive Control and its application. Liberec, 2014. Diploma thesis. TUL.



**Ласточкин Кирилл Юрьевич** – аспирант кафедры Автоматики факультета АВТ НГТУ.

E-mail: [kirill.avt@gmail.com](mailto:kirill.avt@gmail.com)



**Приходько Игорь Олегович** – аспирант кафедры Автоматики факультета АВТ НГТУ.

E-mail: [igor\\_prih92@mail.ru](mailto:igor_prih92@mail.ru)

## Development of the Intelligent Control for the System “DPT-Generator”

K.Y. Lastochkin, I.O. Prihodko

*Abstract:* The paper deals with the question of the control of nonlinear system “DC motor – generator” using the predictive model control, where the model is expressed explicitly. The paper gives used parameters of the regulator design and the object model. It also shows the actual results of the system working.

*Key words:* control with predictive model, intelligent control, DC motor, a linear object.

## REFERENCES

- [1] Magni, L. Nonlinear model predictive control: towards new challenging applications. Berlin: Springer, 2009, p. 345-369. ISBN 978-3-642-01094-1
- [2] Maciejowski, J. M. Predictive control: with constraints. New York: Prentice Hall, 2002, XVIII, 331 p. ISBN 02-013-9823-0.
- [3] Modrlak, O., Hubka, L., Gartner, S., Worlitz, F. Rotational Speed Control DC Motor with load. Liberec: TUL, 2012.
- [4] Bemporad, A. Hybrid Toolbox User's Guide URL: [http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/publications/cgi-bin/hybtbx\\_download.cgi](http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/publications/cgi-bin/hybtbx_download.cgi)
- [5] Kopal, M. Explicit Model Predictive Control and its application. Liberec, 2014. Diploma thesis. TUL.

# Автоматизация в мелкосерийном и единичном производстве

Любомир Димитров, Вадим Жмудь  
Технический университет Софии (София, Болгария), НГТУ (Новосибирск, Россия)

**Аннотация:** Одним из основных требований современного рынка является индивидуализация товаров и услуг (*mass customization*). По мере того как производственный процесс обусловлен требованиями рынка он должен выполнить эти требования, изменив принцип «чем больше, тем лучше» на новый принцип «чем больше разнообразия, тем лучше». Это соответствует повышению гибкости для модификаций, лучшему соответствию требованиям заказчика, более быстрой доставке, лучшему качеству и относительно низкой стоимости, такой, которая сближается со стоимостью при массовом производстве. Это может быть сделано путем использования специальных подходов и методов, таких как «Групповая технология», LEAN подход, компьютерное интегрированное производство (СІМ), гибкие производственные системы (ГПС), систем управления жизненным циклом изделия (PLM), системы планирования ресурсов предприятия (ERP) и некоторые другие. В данной работе представлен опыт одного завода в Болгарии, который производить единичное и мелкосерийное производство. Завод является предприятием среднего размера и производит гидравлические цилиндры, гидравлические насосы, гидравлические двигатели и другие гидравлические элементы. Главной особенностью этого производства является небольшое число элементов в серии, и тогда производство может быть определено как единичное и мелкосерийное. Сто процентов производства основывается на принципе «Сделать на заказ» (*Pull production*). Эти особенности и требования к гибкости, низкой себестоимости и быстрой реализации требуют высокого качества инновационных технологий в области дизайна, производства, сборки и тестирования товаров, производимых заводом.

**Ключевые слова:** автоматизация, мелкосерийное производство, классификации, групповые технологии

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Слово «производство» широко используется в нашей практике и имеет несколько значений, но обычно его понимают как процесс превращения сырья или компонентов в готовую продукцию, которая удовлетворяет ожидания клиентов. Когда выпускается продукт, ему соответствует конкретная цена и качество. Современное общество имеет совершенно новые требования к нынешнему рынку и отсюда следует, что современное производство должно иметь новые

особенности, отвечающие требованиям рынка. Основной характеристикой современного производства является его конкурентность. Это означает, что существует слишком много производителей на рынке, поэтому не только цена и соответствующее качество являются доминирующими факторами. Клиенты требуют многообразия товаров, быстрой доставки, гибкости производства, хорошей цены, и наличия сопутствующего обслуживания.

В то же время современное производство все больше адаптируется к потребителю (персонализируется). Количество продуктов по заказу поставщиков небольшими сериями или даже отдельных продуктов все увеличивается. Массовая персонализация (*mass customization*) является новейшим направлением в конкурентной борьбе на рынке производства и услуг [1–3].

В ходе опроса 1200 глобальных компаний [3], отмечается, что 67 % их клиентов считают, что «Персонализация помогает компаниям дифференцировать свои продукты от своих конкурентов в то время, когда Интернет стремительно создает прозрачность на цену и помогает клиентам легко сравнить продукты с их аналогами».

В течение последнего десятилетия, промышленные машины были изменены таким образом, чтобы они могли производить различные товары только с небольшой корректировкой [1]. Это вполне соответствует желанию людей быть уникальными, отличными друг от друга. В конце концов, этот процесс привел к современному промышленному производству, которое характеризуется следующими особенностями:

- Персонализация, то есть уменьшение количества продуктов в серии. В результате, большая часть современного производства можно охарактеризовать как единичное и мелкосерийное производство;
- Сокращение времени, необходимого для товарного производства, что является результатом жесткой конкуренции на рынке и необходимости очень быстрого внедрения новых продуктов;
- Высокое качество продукции, что повышает требования к разработке продукции и производственного оборудования;
- Снижение стоимости продуктов. Важно снизить стоимость таким образом, чтобы мелкие продуктовые серии смогли конкурировать с массовым производством. В то же время, более

низкая стоимость продукта должна соответствовать высокому качеству.

## 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЕДИНИЧНОМ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Характеристики современного производства, упомянутые выше, могут быть достигнуты за счет использования специальных подходов и методов, таких как *LEAN* подход, Компьютерно-интегрированное производство (*Computer Integrated Manufacturing, CIM*), подхода «Групповых технологий», использования Гибких Производственных Систем (ГПС), систем управления жизненным циклом изделия (*PLM*) и системы планирования ресурсов предприятий (*ERP*).

### 2.1. LEAN подход

Философия *LEAN* производства была разработана Тайити Оно и Эйдзи Тойода в период с 1948 по 1975 год и известна как «*Toyota Production System*» [4]. *LEAN* подход в производстве основан на утверждении, что все затраты, кроме производственных затрат (т.е. тех, которые увеличивают стоимость продукта или услуги для конечного потребителя) расточительны. *LEAN* дает ответы на многие вопросы, анализируя факторы, которые увеличивают стоимость конечного продукта и в то же время призывает к устранению непроизводительных затрат (*waste*). Кроме того, *LEAN* призывает к постоянному совершенствованию производственных процессов. Конечная цель состоит в том, чтобы обеспечить идеальную цену для клиента благодаря отличной стоимости производственного процесса, который характеризуется почти нулевыми непроизводительными затратами [5].

Для успешной реализации *LEAN* производства, следует придерживаться следующих четырех принципов [6]:

**Принцип 1: Pull production** – производить на заказ. Вместо того чтобы следовать принципу «производят столько товаров или услуг, как это возможно», философия *LEAN* основана на потребности клиента в товарах или услугах и только после заказа следует их производство. Это сводит к минимуму перепроизводство, запас инвентаря и расходы оборотного капитала.

**Принцип 2: Flow production** - поточность производства. Этот принцип сосредоточен на производстве одного продукта, в одно время. Он сводит к минимуму эксплуатационные потери и время ожидания и с другой стороны повышает качество и гибкость.

**Принцип 3: Tact production** – ритмичность производства. Определение ритма (такта) производства позволяет сбалансировать производство для устойчивого производственного потока и для гибкого реагирования на изменения рынка.

**Принцип 4: Minimum losses (minimum waste)** - минимальные потери (минимальные отходы и непроизводительные затраты). Идея совершенства путем непрерывного последовательного удаления различных видов (слоев) непроизводительных затрат и отходов. Ошибки случаются, но компании должны бороться за их раннее выявление, сокращение и ликвидацию. Ошибки должны быть удалены до их влияния на последующие операции.

На основе этих принципов определяется пятиступенчатый процесс внедрения подхода *LEAN* [7]:

**Шаг 1:** Укажите ценность (стоимость) требуемого семейства продуктов с точки зрения клиента.

**Шаг 2:** Определите все шаги в потоке создания ценности для каждого семейства продуктов, устраняя по возможности те шаги, которые не создают ценности.

**Шаг 3:** Убедитесь, что шаги по созданию стоимости происходят в жесткой последовательности, так что продукт плавно перетекает к клиенту.

**Шаг 4:** После того, как производство уже организовано, разрешите клиенту увеличивать стоимость продукта от последующих действий с ним.

**Шаг 5:** Когда стоимость уже определена, производство уже организовано и все действия, которые не добавляют стоимость удалены, то следует начать процесс снова и продолжать его до состояния совершенства, в котором идеальное значение стоимости создается без потерь.

### 2.2. Гибкие производственные системы

Под термином «Гибкие производственные системы» понимают высокопроизводительное, реконфигурируемое оборудование с соответствующим программным обеспечением. Гибкость здесь означает способность справляться с разными типами продуктов (отличающимися слегка или сильно), позволять также изменение последовательности процесса, изменение в объеме производства и изменение в дизайне определенного производимого продукта. Как правило, гибкие производственные системы состоят из трех основных систем:

- станки с ЧПУ;
- автоматизированная система нагрузки и разгрузки;
- информационная система, которая контролирует проектирование, производство и снабжение.

### 2.3. Групповые технологии

Подход «Групповых технологий» является основой автоматизации и повышения эффективности в малых сериях серийного производства [8–10, 22]. Идея этого подхода состоит в том, чтобы сгруппировать элементы, части элементов, изделий или машин, которые

имеют сходство в функциях, геометрии, производственного процесса или в других отношениях. Общий принцип заключается в том, что многие проблемы схожи и на основе группировки подобных задач может быть найдено единое решение к набору задач, что экономит время и усилия. Таким образом, ядром групповой технологии является идентификация, классификация и типизация элементов, продуктов или технологий.

*Идентификация* объекта или процесса требует оригинального названия (или номера) и спецификации (определения) параметров

следующим образом: определить параметр, ограничить отклонения параметров и дать для параметра текущее значение.

*Классификация* представляет собой процесс расположения объектов (или процессов) в группы в соответствии с их атрибутами. Результатом этого является «классификационная структура». Она, как правило, имеет иерархический тип - атрибуты наследуют характеристики вышеуказанного уровня. На *Рис.1* показана структура классификации гидродолиндров в исследуемом заводе.

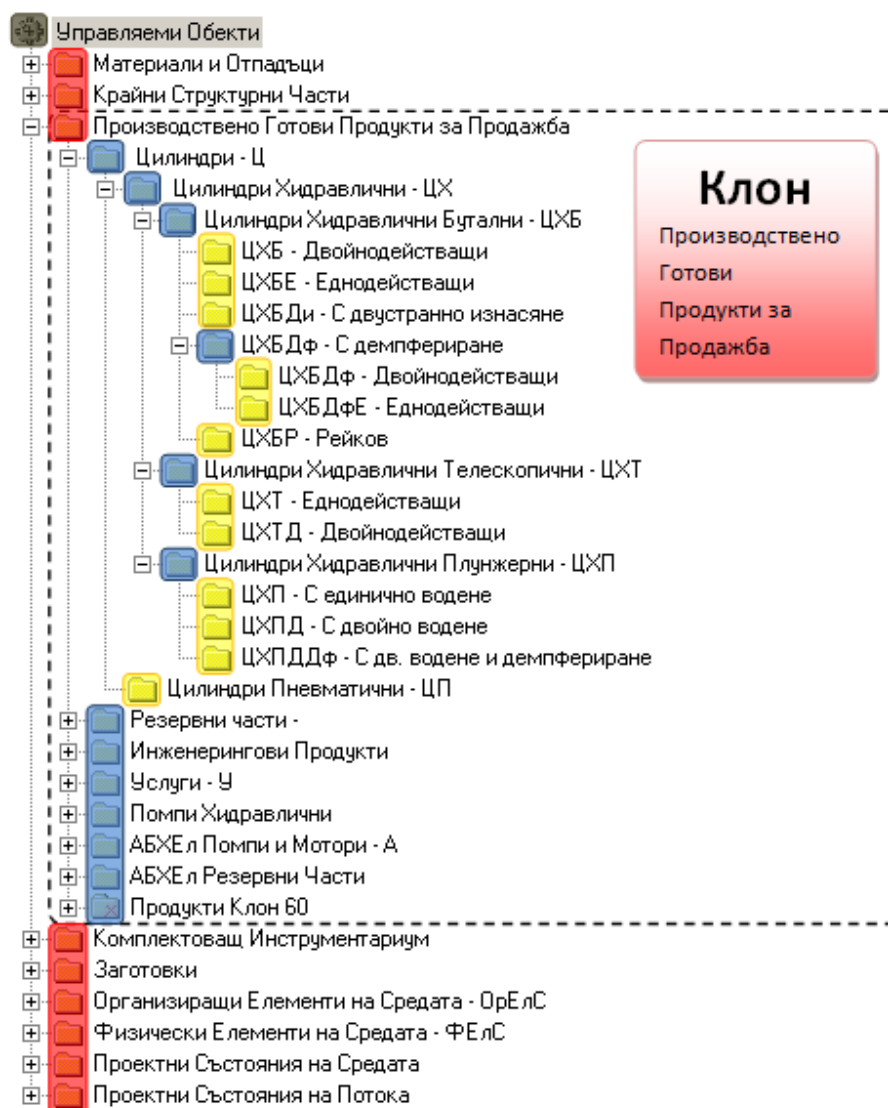


Рис. 1. Иерархическая структура гидравлических цилиндров, производимых на заводе [21] (на рисунке язык текста – болгарский)

*Типизация* представляет собой процесс определения репрезентативного объекта (или процесса) в группе. Это заключительный этап любой классификации. А «типовой объект» является последним блоком в классификации. Какой объект может быть типовым, зависит от цели классификации и это может быть наиболее распространенный объект в группе или наиболее

сложный объект в группе.

#### 2.4. Компьютерно-интегрированное производство

Термин «компьютерно-интегрированное производство», или *CIM*, был введен доктором Джозефом Харрингтона в 1979 году в книге с тем же названием [11]. До 1970-х годов, наиболее



успешной автоматизация была в производственных операциях [8, 9, 11, 12]. Тогда, для изготовления деталей использовали высокомеханизированные машины, которые управлялись с помощью кулачков и сложных устройств, таких как автоматические винтовые машины и тому подобные приспособления. Производители процесса использовали эти кулачковые механизмы и концевые выключатели для таких операций, как термообработка, заполнение и консервирование, розлив, и некоторые другие. Исторический подход к автоматизации позднее был сосредоточен на отдельных видах деятельности, которые приводили к включению большого количества компьютеризованных операций [13]. В 1980-е годы, информационные технологии стали важным фактором в производстве. В последнее время, из-за вклада многих разработок исследователей и практиков из университетов и промышленных кругов, *CIM* стала очень сложной и важной областью развития автоматизации. Разные специалисты в разных областях предложили свое понимание *CIM*. Они использовали свои знания для решения различных проблем в науке и практике и внесли свой вклад в разработку методологий и теорий *CIM*. И, наконец, в настоящее время никто не может себе представить промышленность и производство без информационных и коммуникационных технологий. Можно утверждать, что *Computer Integrated Manufacturing* вкладывает информационные технологии в реальную практику с целью интеграции производственных и бизнес целей. При правильном применении, *CIM* может обеспечить повышенную производительность, эффективность затрат и оперативное реагирование на всем предприятии.

Каждое производственное предприятие имеет уникальный набор бизнес-процессов, которые используются для разработки, производства и сбыта продукции предприятия. Но независимо от уникальных особенностей предприятия или его набора производственных процессов, каждое предприятие имеет типичный набор задач высокого уровня, а именно:

- Разработка продукции и производственных процессов;
- Проведение производственных операций;
- Управление кадровыми ресурсами;
- Управление финансами и бухгалтерский учет;
- Управление внешними связями.

Для успешной интеграции этих функций и их ресурсов требуется способность делиться и обмениваться информацией о многих событиях, которые происходят во время различных фаз производства. Все производственные системы должны быть в состоянии общаться с другими информационными системами в рамках всей компании.

### 3. ПРИМЕР. ПРОИЗВОДСТВО ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ В МАЛЫХ СЕРИЯХ

В контексте глобализирующегося мира, экономического кризиса и замедляющегося экономического роста каждая компания должна принять ряд мер для того, чтобы выжить и остаться на рынке, чтобы уменьшить риск в производстве и, в конце концов, опять вернуться к росту и получению прибыли. В значительной степени это может стать возможным благодаря производственной стратегии под названием «массовой персонализации» (*mass customization*) как механизма выживания.

Компания «Гидравлические элементы и системы» (*HES Pls*) является компанией для производства гидравлических цилиндров и других гидравлических элементов. Она расположена в юго-восточной Болгарии. Вся производственная деятельность компании на сто процентов подчинена тенденции *LEAN* по принципу «*Pull production*» – «производить на заказ». Специфика производства – в малых сериях. Таблица 1 показывает количество продукции, произведенной на этом заводе в 2013 г. Таблица показывает, что около 77,5 % производства находится в очень небольшом количестве (от 1 до 15 штук). Этот факт индивидуализации продукции вынуждает компании организовать производство таким образом, чтобы быть более гибкими, чтобы производить относительно дешевые продукты хорошего качества. Не секрет, что большие серии заказывают и производят, в основном, в Китае или Индии. Для того чтобы сохранить клиентов и быть на рынке, руководство завода поняло, что надо может предложить широкий спектр гидравлических элементов и доставить их быстро, дешево, в небольших количествах и высокого качества. Это и открыло для компании новую рыночную нишу – единичное и мелкосерийное производство.

Таблица 1. Заказы в 2013 году

Образцов на заказ	Заказов в 2013	
Заказ на 1 образец	1097	13,0%
Заказ на 2 – 5 образца	2950	34,9%
Заказ на – 15 образцов	2505	29,6%
Заказ на 16 – 50 образцов	1430	16,9%
Заказ на 51 – 100 образцов	288	3,4%
Заказ на 101 – 200 образцов	161	2,0%
Заказ на 201 – 311 образцов	19	0,2%
Заказ на 312 образцов	1	0,0%
Итого заказов	8451	100%

#### 3.1. Использование принципа групповых технологий

В нашем случае принцип групповых технологий применялся на всех этапах жизненного цикла продукции: проектирование, изготовление (в том числе сборка и тестирование), приобретение сырья и

планирование [14, 15, 16]. Применяя принцип групповых технологий, организованы группы в соответствии с аналогичными функциями в целях облегчения каждого из процессов, упомянутых выше. Таким образом, группирующие признаки были подразделены на группы, подгруппы и элементы.

#### **Групповые технологии в проектировании.**

Процессы проектирования автоматизированы с помощью систем CAD/CAM/CAE. Все цилиндры, произведенные на заводе, классифицируются на группы, как показано на Рис. 1 [17]. В конце классификации имеется «представитель - параметризованный цилиндр». Этот «Параметризованный цилиндр» (ПЦ) включает в себя основные элементы своей группы, а специфические элементы добавляются конструктором. Подобные классификации были сделаны для всех деталей и устройств, произведенных на заводе.

#### **Групповые технологии в производстве и гибкие производственные системы.**

Первоначально термин «групповые технологии» был связан с производством. Идея состояла в том, чтобы сгруппировать подобные элементы [22] в соответствии с их сходством для процесса их производства. Таким образом, они могут быть легко получены с использованием в «Клеточных производственных системах» [18, 19] или на «Гибких производственных системах» [9, 12, 20] в зависимости от имеющегося оборудования. В клеточных производственных системах, машины группируются в соответствии с производимым семейством деталей. Главное преимущество в том, что поток материала значительно улучшается, что уменьшает расстояние, проходимое материалом и инвентарем, а также время для производства. Вначале на заводе было организовано производство в соответствии с принципами клеточного производства, поскольку на заводе были такие производственные машины. Позже были куплены новые станки с системой ЧПУ, и производство стало соответствовать типу ГПС.

#### **Групповые технологии в сборке и испытании.**

Тот же подход групповых технологий был применен и к процессам сборки и испытаний. На заводе [15, 16] были организованы десять сборочно-испытательных линий потока (ATFL). Классификация производимых цилиндров играла главную роль в организации этих сборочных линий. Правильная группировка продуктов позволила использовать все преимущества групповых технологий и значительно сократить время и стоимость производства. На основе анализ производства на заводе, была разработана новая схема классификации. В этой новой схеме все гидравлические цилиндры были классифицированы в соответствии с их функциями: одинарного и двойного действия. Тип действия обладал специальное

оборудование, которое будет установлено в линиях, где были собраны и испытаны эти цилиндры. Следующая ветвь этой системы классификации была посвящена типам цилиндров: поршневых, плунжерных, телескопических и специального типа. Затем цилиндры были разделены в соответствии с их размерами [15, 16].

Основные соображения, которые принимались во внимание при проектировании монтажно-испытательных линий, были:

- Большие цилиндры были тяжелыми, и в их сборочно-испытательной линии было включено подъемное устройство;
- Для длинных цилиндров требуется горизонтальная сборка, в то время как для сборки коротких цилиндров монтажные стойки могут быть вертикальными;
- Сборка и испытания малых (в диаметре) и коротких цилиндров было организовано в одну линию.
- Телескопические цилиндры имели в спецификации операции сборки и испытаний, и они должны были быть расположены на отдельной линии.
- Были спецификации в сборке и испытании цилиндров двойного действия, и поэтому они были расположены на другой отдельной линии.

### **3.2. Управляющее программное обеспечение**

Все процессы на заводе контролируются системой PLM, которая была разработана на заводе для его потребностей и называется СЕМБА [21]. Использование этой системы сокращает время производства и помогает избежать возможных ошибок. Эта система охватывает весь жизненный цикл продукта от появления первоначальной идеи, инженерного проектирования, производства, обслуживания и его утилизации. Она объединяет людей, данные, процессы и все остальные компьютерные системы на заводе. Она взаимодействует со всеми другими компьютерными системами, такими как CAD, CAM, ERP и PDM, тем самым обеспечивая интегрированное представление всех бизнес-процессов на заводе в режиме реального времени с использованием общих баз данных.

## **4. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ АВТОМАТИЗАЦИИ В МАССОВОЙ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДУЕМОГО ЗАВОДА**

Рис. 2 иллюстрирует изменения в продукции компании с 1998 года. Наиболее впечатляющим является то, что среднее число цилиндров в серии сократилось с 60 в 1999 году до 14 в 2013 году, хотя общий объем производства остался более или менее на уровне 2004 года (за исключением периода глобального кризиса в 2009 году). В то же время номенклатура увеличилась примерно с 100 типов в 1998 году до примерно 6000 типов производимых цилиндров 2013 году. Это

означает, что компания полностью соблюдает требования клиентов и держит цены более или менее в том же самом уровне. Можно заключить, что эти изменения характерны для современного промышленного производства и это хороший пример его массовой персонализации.

На Рис. 3. показаны результаты компании после того, как компания перешла на массовую персонализацию продукции. В результате мер, описанных выше, производительность труда увеличилась в 5 раз. Из рисунка видно, что самые большие инвестиции были сделаны в период кризиса в 2009 году.

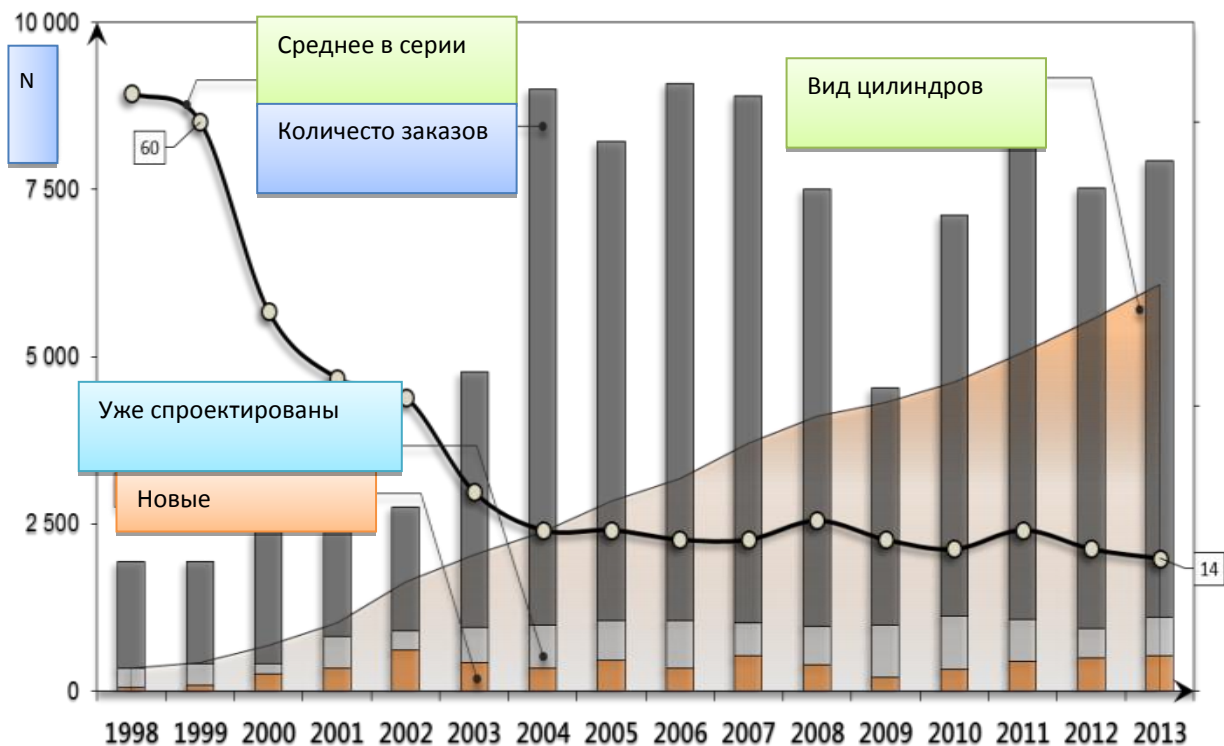


Рис. 2. Иллюстрация персонализации производства на заводе с 1998 по 2013 год

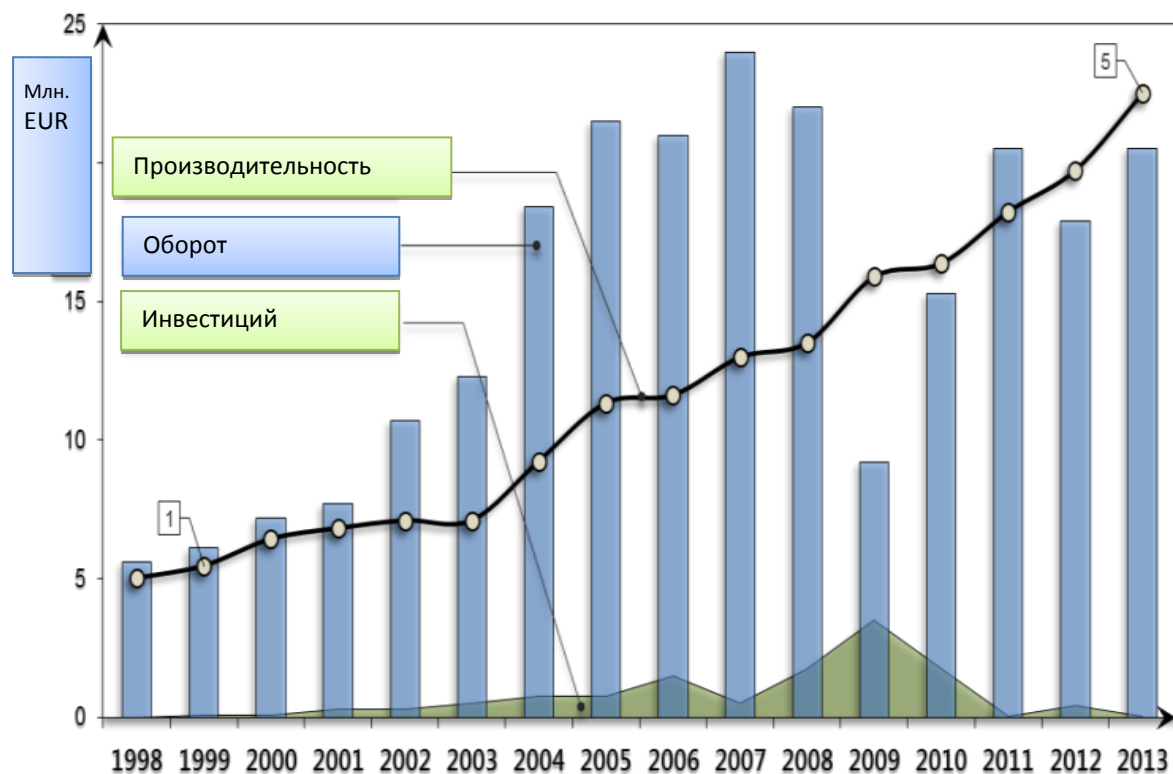


Рис. 3. Инвестиции, оборот и производительность труда в компании с 1998 по 2013 год

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая эффективность и относительно низкая стоимость массовой персонализации может быть достигнута за счет использования подхода LEAN, групповых технологий, компьютеризированного производства и гибких производственных систем. Посредством применения этих методов на исследуемом заводе с 1998 года, достигнуты следующие цели:

- Объем производства увеличился в 4-5 раз;
- Численность работников сократилась в 3,1 раза;
- Число претензий клиентов уменьшилось до 0,02%;
- Образовательный уровень сотрудников и рабочих был значительно улучшен;
- Производственный цикл сократился с 6-7 недель до 1-2 недель.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] G. Silveiraa, D. Borensteinb, F. Fogliattoc, Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Vol.72, No.1, 2001, pp. 1–13.
- [2] M. Onken, M. Strategic Global Mass Customization: Supporting Generic And Global Strategies. *International Journal of Management & Information Systems*, Vol.15, No2, 2011, pp. 71-78.
- [3] B. Brief, Making it personal: Rules for success in product customization. <http://www.bain.com/publications/articles/making-it-personal-rules-for-success-in-product-customization.aspx> (31.08.2015).
- [4] О. Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland, 1988.
- [5] J.P. Womack, J.P., D.T. Jones. *Lean Thinking*. 2<sup>nd</sup> ed. Simon&Schuster Inc., 1996.
- [6] Four Lean principles. <http://www.fourprinciples.ae/lean/principles#.VeWlYU3os5s> (01.09.2015)
- [7] Principles of lean. <http://www.lean.org/WhatsLean/Principles.cfm> (01.09.2015).
- [8] L.S. Lawrence, What's the technology in GT? *Managing Automation*, July 1986, pp. 51-56.
- [9] M.P. Groover, *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall, 2007.
- [10] P.M. Swamidass, *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer, 2000.
- [11] J. Harrington, *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co., 1979.
- [12] H. Zhang, L. Alting, *Computerized manufacturing process planning systems*. Springer, 1994.
- [13] J.A. Rehg, H. Kraebber, *Computer Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [14] L. Dimitrov, P. Nedyalkov, A. Todorov, Automation in Design and Analysis of Hydraulic Cylinders. *Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems*, Zlatibor, Serbia, 2011, pp. 209-212.
- [15] L. Dimitrov, R. Shikov, H. Bankov, M. Klochkova, Automated Assembly of Hydraulic Cylinders in Small and Medium Size Production, *Proc. 32<sup>nd</sup>*

*Congress with Int. Participation HIPNEF*, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009, pp. 25-33.

- [16] L. Dimitrov, S. Yordanova, Optimal Fuzzy Logic Based Enterprise Resource Planning System for Hydraulic Cylinders Assembly. – *International Journal of Systems Application, Engineering & Development*, Vol.5, No5, 2011, pp. 634-641.
- [17] L. Dimitrov, S. Spasov. Automation in small series batch production. A case study, *2<sup>nd</sup> International Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2014*, Sarajevo, pp. 9-16.
- [18] S. Irani, *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1999.
- [19] H. Nancy, U. Wemmerlov, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, OR, 2002.
- [20] T. Tolio, *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer, 2009.
- [21] SEMBA: User Manual, 2008.
- [22] Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Ленинград, Машиностроение, 1983.



**Вадим А. Жмудь**, заведующий кафедрой Автоматики в Новосибирском государственном техническом университете, автор более чем 300 научных работ, включая более 20 патентов, 12 учебных пособий.  
E-mail: [zhmud@corp.nstu.ru](mailto:zhmud@corp.nstu.ru)



**Любомир В. Димитров**, декан машиностроительного факультета Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS).  
E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)

## Automation in Small Batch and Unit Production

L. Dimitrov, V. Zhmud

**Abstract:** One of the basic requirements of present-day market is the customization of goods and services offered. As the production process is driven by the market requirements it should fulfil in these requirements by changing the principle “the more the better” to the new principle “the more variety the better”, which meets the flexibility in modifications and the customer requirements for fast delivery, good quality and relatively low cost (in comparison with the cost in mass production). This could be done by the use of special approaches and techniques such as Group technology approach, LEAN approach, Computer Integrated Manufacturing approach (CIM), Flexible Manufacturing Systems (FMS), Product Lifecycle Management systems (PLM), Enterprise

Resource Planning systems (ERP) and some others. In this paper the experience in mass customization in single and small series batch production in a factory in Bulgaria is presented as a case study. The factory is a medium size enterprise and produces hydraulic cylinders, hydraulic pumps, hydraulic motors, and other hydraulic elements. The main specific of this production is the small number of elements in a series and the production can be determined as a single and small series production. Hundred percent of production is based on the principle of “Pull production” (or “Make to Order”). These specifics and the requirement for flexibility, low cost and high quality demand implementation of innovative technologies in design, production, assembly and testing of the goods produced by the company.

*Key words:* automation, small-scale production, classification, group technology

## REFERENCES

- [1] G. Silveira, D. Borenstein, F. Fogliatto, Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Vol.72, No.1, 2001, pp. 1–13.
- [2] M. Onken, M. Strategic Global Mass Customization: Supporting Generic And Global Strategies. *International Journal of Management & Information Systems*, Vol.15, No2, 2011, pp. 71-78.
- [3] B. Brief, Making it personal: Rules for success in product customization. <http://www.bain.com/publications/articles/making-it-personal-rules-for-success-in-product-customization.aspx> (31.08.2015).
- [4] O. Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland, 1988.
- [5] J.P. Womack, J.P., D.T. Jones. *Lean Thinking*. 2<sup>nd</sup> ed. Simon&Schuster Inc., 1996.
- [6] Four Lean principles. <http://www.fourprinciples.ae/lean/principles#.VeWIYU3os5s> (01.09.2015)
- [7] Principles of lean. <http://www.lean.org/WhatsLean/Principles.cfm> (01.09.2015).
- [8] L.S. Lawrence, What's the technology in GT? *Managing Automation*, July 1986, pp. 51-56.
- [9] M.P. Groover, *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall, 2007.
- [10] P.M. Swamidass, *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer, 2000.
- [11] J. Harrington, *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co., 1979.
- [12] H. Zhang, L. Altng, *Computerized manufacturing process planning systems*. Springer, 1994.
- [13] J.A. Rehg, H. Kraebber, *Computer Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [14] L. Dimitrov, P. Nedyalkov, A. Todorov, Automation in Design and Analysis of Hydraulic Cylinders. *Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems*, Zlatibor, Serbia, 2011, pp. 209-212.
- [15] L. Dimitrov, R. Shikov, H. Bankov, M. Klochkova, Automated Assembly of Hydraulic Cylinders in Small and Medium Size Production, *Proc. 32<sup>nd</sup> Congress with Int. Participation HIPNEF, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009*, pp. 25-33.
- [16] L. Dimitrov, S. Yordanova, Optimal Fuzzy Logic Based Enterprise Resource Planning System for Hydraulic Cylinders Assembly. – *International Journal of Systems Application, Engineering & Development*, Vol.5, No5, 2011, pp. 634-641.
- [17] L. Dimitrov, S. Spasov. Automation in small series batch production. A case study, *2<sup>nd</sup> International Conference “Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications” COMETA 2014*, Sarajevo, pp. 9-16.
- [18] S. Irani, *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1999.
- [19] H. Nancy, U. Wemmerlov, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, OR, 2002.
- [20] T. Tolio, *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer, 2009.
- [21] SEMBA: User Manual, 2008.
- [22] Mitrofanov, S.P. Grupovaja tehnologija mashinostroitel'nogo proizvodstva. Leningrad, Mashinostroenie, 1983.

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

### Содержание раздела:

- ❖ Е.Ю. Кузнецова, З.Н. Алексеенко. Моделирование распределенного оптоволоконного датчика в Labview с целью повешения пространственного и температурного разрешения. (НИ ТПУ, Томск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 24–28.
- ❖ В.А. Жмудь, А.С. Каменская, К.В. Курбетьев, В.Г. Трубин. Графический OLED дисплей UG-2864ASGGG14: первое включение. (НГТУ, Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 29–37.
- ❖ Эмирбеков Н.Э., Эмирбеков М.Э. Разработка алгоритмов раскачки и стабилизации обратного маятника, закрепленного на валу двигателя. (НГТУ, Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 38–43.

# Моделирование распределенного оптоволоконного датчика в Labview с целью повешения пространственного и температурного разрешения

Е.Ю. Кузнецова, З.Н. Алексеенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

**Аннотация:** Распределенные датчики температуры все чаще используются в системах техногенного мониторинга и измерительной технике. Метрологические характеристики таких устройств требуют улучшения. Это связано с усовершенствованием способов сбора данных и алгоритмов цифровой обработки сигналов. В работе проведено моделирование датчика на языке Labview и предлагается новый подход к улучшению характеристик, заключающийся в цифровой фильтрации и использовании медианных оценок сигнала вместо среднего арифметического значения.

**Ключевые слова:** брэгговский датчик температуры, волоконная оптика, спектральные характеристики, моделирование в среде в Labview

## РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ОПТОВОЛОКОННЫЕ ДАТЧИКИ

Распределённые датчики температуры (DTS) служат эффективным решением многих промышленных задач мониторинга опасных технических объектов, например, силовых кабелей, теплогенераторов, нефте- и газопроводов. Эти датчики позволяют осуществлять непрерывный контроль параметров по всей длине контролируемого объекта в любой его точке, где установлен сенсорный световод [1]. Основные принципы измерения температуры основаны на обнаружении рэлеевского, рамановского и бриллюэновского обратного рассеяния света [2–4]. При анализе изменения физических параметров по длине световода нерешённой проблемой является повышение точности определения локализации измеряемого параметра по длине, которая связана со значением температуры в конкретной точке.

При использовании распределённого температурного датчика, основанного на обратном рассеянии света, в волоконном световоде преобразование первичного светового потока сопровождается переходом рассеивающих молекул на другие колебательные и вращательные уровни энергии, причём частоты новых линий в спектре рассеяния являются комбинациями частоты падающего света и частот колебательно-вращательных переходов рассеивающих молекул. Если молекула вещества перешла

из основного состояния в возбуждённое, в спектре комбинационного рассеяния появляется так называемая стоксова компонента, имеющая большую длину волны по сравнению с источником света. Если молекула в результате комбинационного рассеяния переходит из возбуждённого в основное состояние, появляется так называемая антистоксова компонента [5]. Заселенность возбуждённого уровня напрямую зависит от температуры вещества, поэтому интенсивность антистоксовой компоненты зависит от температуры. Таким образом, регистрируя интенсивность антистоксовой компоненты комбинационного рассеяния, можно проводить измерения температуры на всём протяжении волоконного датчика.

Интенсивность обратного рассеяния очень низка, порядка 60–70 дБ ниже пиковой мощности. Низкая мощность рассеяния отражённых сигналов требует выполнения большого количества измерений в целях повышения соотношения сигнал-шум. Это значительно ограничивает температурное разрешение из-за большой дисперсии отражённых сигналов. В настоящее время эта проблема решается накоплением оцифрованного сигнала с последующим применением кодирования оптических импульсов [6]. Недостатком этого подхода является отсутствие обоснованной методики нахождения среднего значения пачек импульсов с большой дисперсией и большие шумы квантования, влияющие на точность воспроизведения температуры.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Чувствительность и пространственное разрешение датчика напрямую зависит от характеристик источника лазерного излучения, которое используется для зондирования волоконной линии. Поэтому особенную роль в сенсорной системе играют параметры импульсного лазера, осуществляющего опрос. Оптический импульс поступающий в волокно, должен иметь достаточную мощность и ширину спектра. Поскольку лазер с подобными характеристиками подобрать довольно сложно, то



используется схема с двумя лазерами – импульсным и накачки. Схема работы оптической части распределенного датчика температуры представлена на рис 1. Импульсный лазер генерирует оптический сигнал, который проходит через циркулятор и попадает в волоконный эрбиевый усилитель, затем отражается от брэгговской решетки. Брэгговская решетка отражает излучение на своей центральной длине волны с очень узким спектром, порядка 2 нм. За брэгговской решеткой находится лазер накачки, увеличивающий оптическую мощность сигнала, отраженного от брэгговской решетки. Отраженный импульс снова проходит через эрбиевый усилитель и возвращается в циркулятор, который отправляет его непосредственно в чувствительный элемент.

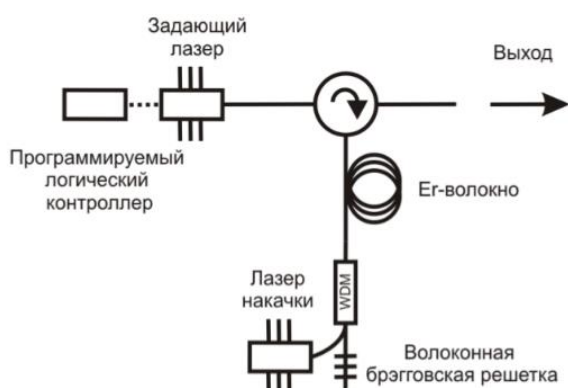


Рис. 1. Схема генерации оптического импульса

Центральная линия на длине волны 1550 нм соответствует рэлеевскому рассеянию лазерного излучения, а две симметрично отстоящие компоненты на длинах волн ~1450 нм и ~1650 нм – антистокс и стокс соответственно. Интенсивность антистоксовой компоненты обратно-рассеянного света, содержащей информацию о температуре в волокне, на 30 dB меньше чем интенсивность рэлеевского рассеяния. Для исключения нетемпературных эффектов, приводящих к изменениям интенсивности антистоксовой компоненты  $I_{as}$ , таких как изгибные потери или потери на сварках волокна, требуется произвести её нормировку на интенсивность стоксовой компоненты  $I_s$ :

$$\frac{I_{as}(T)}{I_s(T)} = \left(\frac{\gamma_{as}}{\gamma_s}\right)^4 \exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \quad (1)$$

где  $\nu_{as}$ ,  $\nu_s$  – частоты антистоксовой и стоксовой компонент соответственно;  $k_B$  – константа Больцмана;  $h$  – постоянная Планка;  $T$  – абсолютная температура.

Максимальный уровень мощности

зондирующего излучения ограничен такими нелинейными эффектами, как вынужденное рассеяние Манделштама-Бриллюэна и вынужденное рамановское рассеяние света. Для уменьшения порога возникновения этих эффектов применялось многомодовое волокно с диаметром сердцевины 62,5 мкм. Площадь рассеяния в многомодовых волокнах существенно выше по сравнению с одномодовыми световодами, поэтому из шумового сигнала (Рис. 2) можно выделить достаточное количество антистоксового рассеяния.

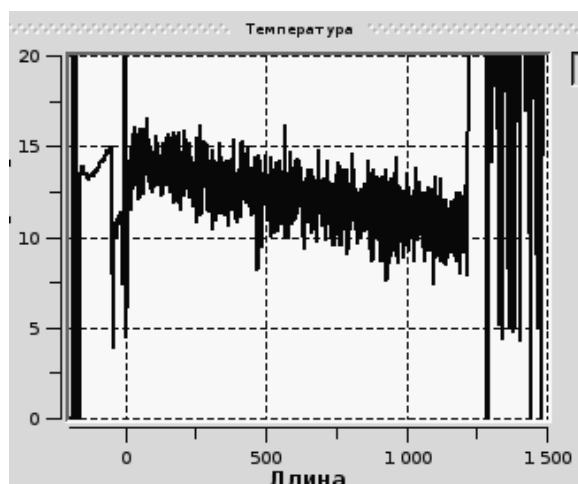


Рис. 2. Типичный вид отражённого сигнала с датчика

Из-за того, что стекло является аморфным веществом, соответствующие колебательным возбуждениям спектральные максимумы уширены и перекрываются между собой. Одним из возможных способов уменьшения шума является многократное усреднение полученных сигналов. Вопрос об усреднении пачек шумоподобных импульсов требует специального изучения, так как на точность определения температуры будут оказывать влияние шумы квантования устройств обработки сигнала.

## ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА

Программное обеспечение *National Instruments Labview* было использовано для обработки сигнала с температурного датчика. В программе рассчитывается спектр, проводится цифровая фильтрация и вычисляются статистические характеристики, пропорциональные температуре. Код программы приведён на Рис. 3.

Спектр сигнала изображен на Рис. 4. Видно, что в области верхних частот он содержит ряд компонент, которые представляют собой помехи и которые должны быть отфильтрованы.

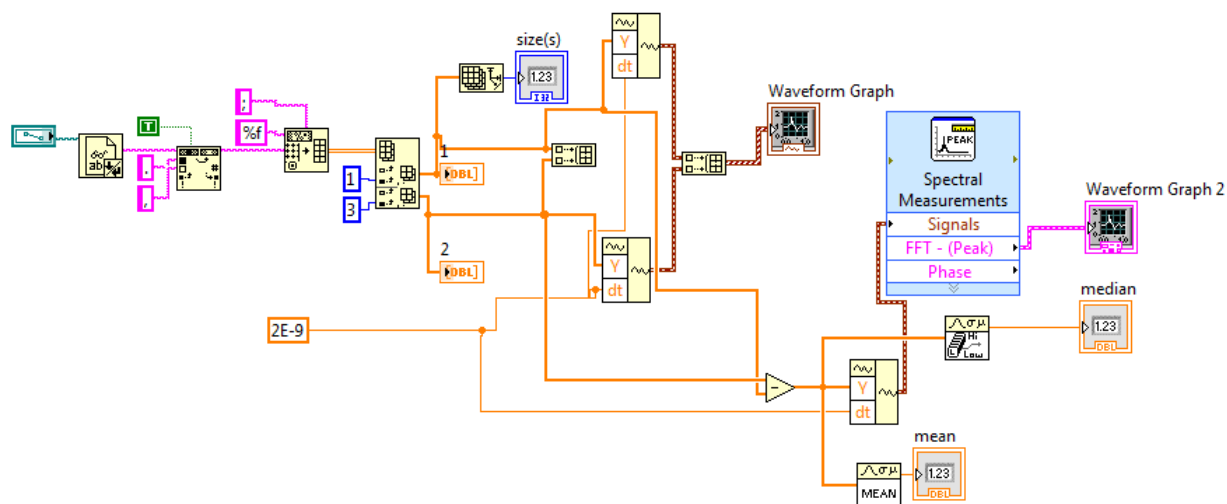


Рис. 3. Программа обработки отражённого сигнала с датчика

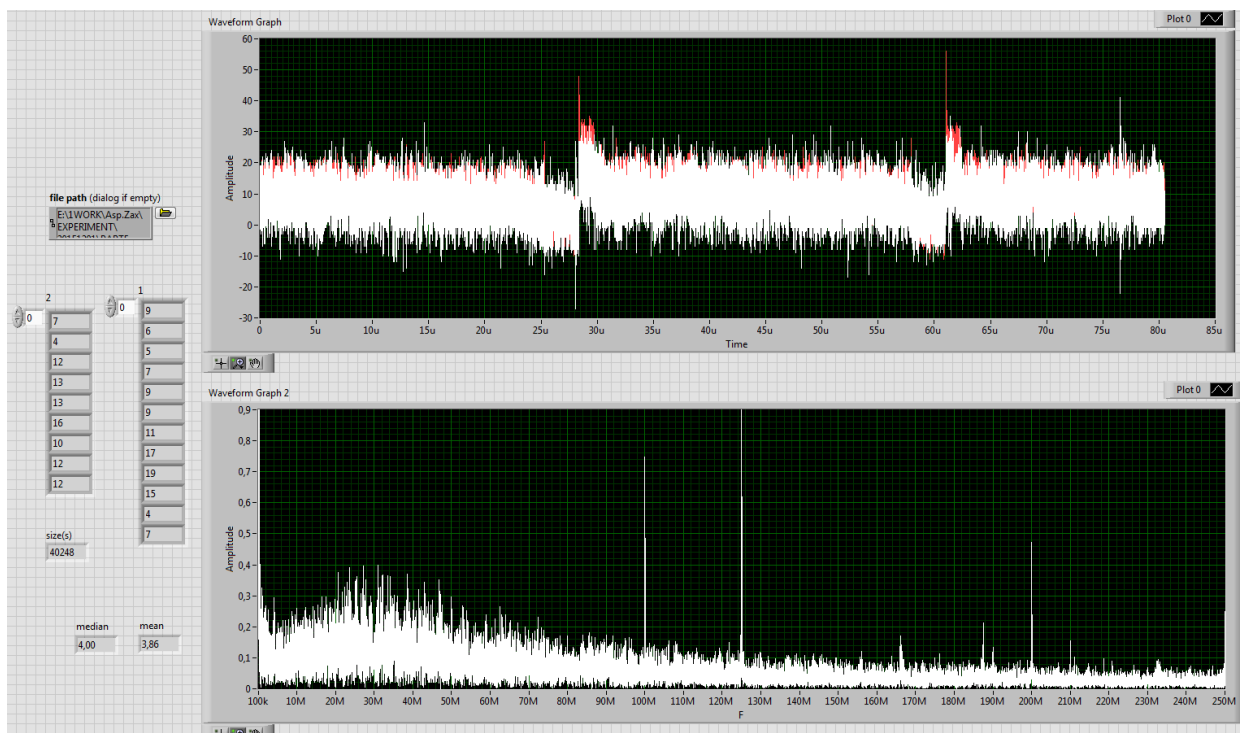


Рис. 4. Исходный сигнал и его спектр в Labview

Для массива данных, состоящий из 128000 откликов, снятых с оптического волокна, проводилось усреднение путём нахождения среднего арифметического и медианного значения для стоксовых и антистоксовых компонент (Рис. 5). Для одиночных импульсов медиана всегда меньше среднего

арифметического, а для всей пачки – больше. Таким образом, датчик со средним значением шумоподобного сигнала даёт завышенное значение температуры, если амплитуды компонент откликов пересчитать в температуру (Рис. 6).

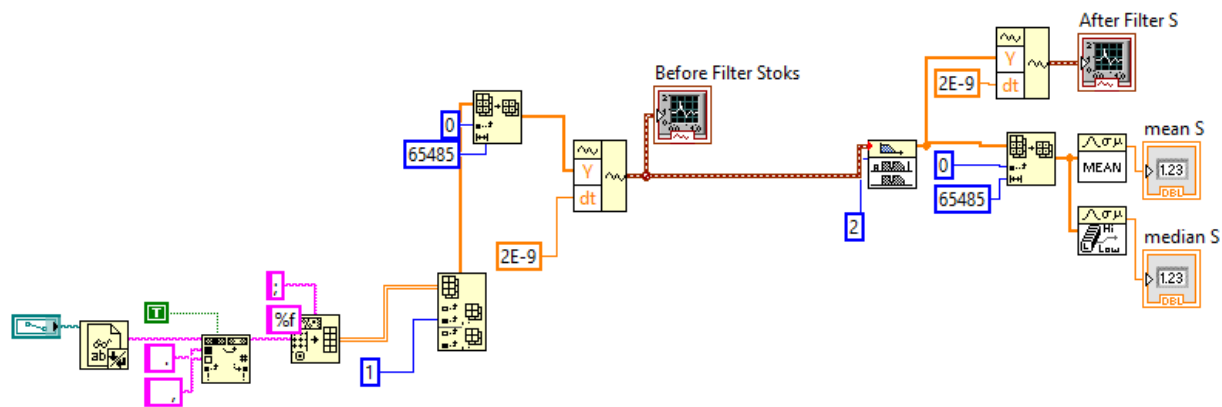


Рис. 5. Программа цифровой фильтрации (медианный фильтр)

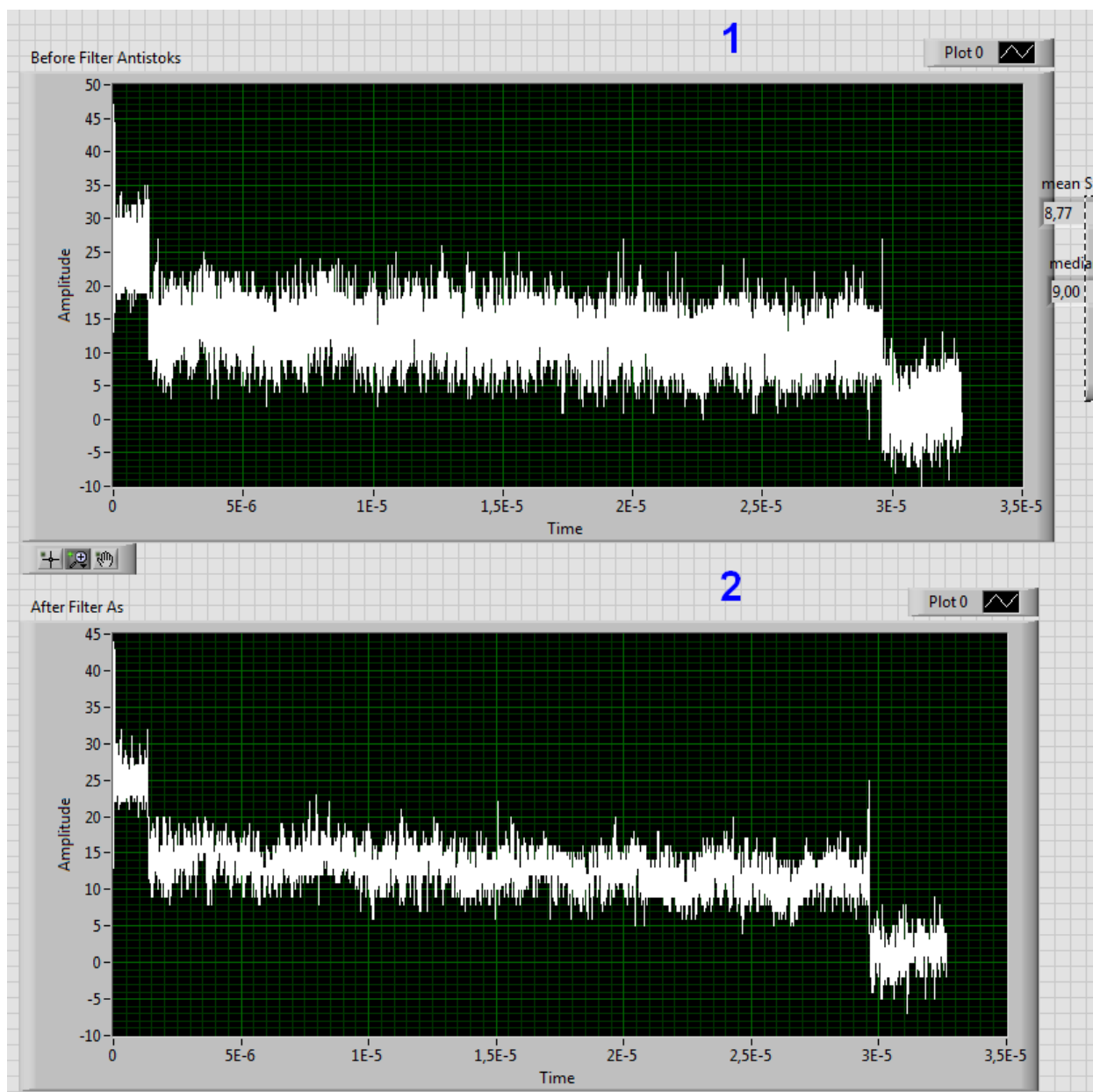


Рис. 6. Оцифрованный импульс с фотоприемника (1 – среднее арифметическое значение, 2 – медиана)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение точности измерения температуры в волоконно-оптических датчиках может быть достигнуто применением цифрового фильтра и медианного усреднения откликов фотоприёмников. Для повышения отношения сигнал-шум целесообразна предварительная аналоговая обработка сигнала, сглаживающая быстрые флуктуации отклика фотоприёмника и снижающего в последующем шум квантования.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алексеенко З.Н., Стукач О.В. Построение системы мониторинга на основе датчиков на волоконной брегговской решетке для объектов с большой инфраструктурой [Электронный ресурс] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12-14 ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 335-336. - Режим доступа: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04\\_V1.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04_V1.pdf)
- [2] A. H. Hartog. A distributed temperature sensor based on liquid-core optical fibers // Journal Lightwave Technol. - 1983. – N 1. – P. 498–509.
- [3] J. P. Dakin, D. J. Pratt, G. W. Bibby, J. N. Ross. Distributed optical fiber Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector // Electron. Lett. - 1985. - № 21. - С. 569–570.
- [4] X. Bao, D. J. Webb, D. A. Jackson. Combined distributed temperature and strain sensor based on Brillouin loss in an optical fiber // Opt. Lett. - 1994. - № 19. -С. 141–143.
- [5] B. Culshaw, “Optical fiber sensor technologies: opportunities and-perhaps-pitfalls,” J. Lightwave Technol., vol. 22, no. 1, pp. 39-50, 2004.
- [6] J. Park *et al.*, “Raman-based distributed temperature sensor with simplex coding and link optimization,” Photon. Tech. Lett., vol. 18, no. 17, pp. 1871-1881, 2006.



**Кузнецова Екатерина Юрьевна** – магистрант кафедры Компьютерных измерительных систем и метрологии Национального исследовательского Томского политехнического университета.  
E-mail: [katura1993k1@mail.ru](mailto:katura1993k1@mail.ru)



**Алексеенко Захар Николаевич** – аспирант кафедры Компьютерных измерительных систем и метрологии Национального исследовательского Томского политехнического университета.  
E-mail: [zakharalekseenko@gmail.com](mailto:zakharalekseenko@gmail.com)

## Modeling of the Distributed Fibre-Optical Sensor in Labview for Increasing of the Spatial and Temperature Resolution

E.Yu. Kuznetsova, Z.N. Alekseenko

*Abstract.* The distributed temperature sensors are often used in systems of technogenic monitoring and measurement technique. The metrological characteristics of such devices demand improvement. It is connected with improvement of data acquisition and algorithms of digital signal processing. In the paper, the modeling of distributed temperature sensor in Labview is carried out. A new approach to improvement of characteristics, consist in digital filtration and use of median evaluation of signal instead of average value is offered.

*Key words:* Bragg temperature sensor, fiber optics, spectrum characteristics, modeling in Labview

## REFERENCES

- [1] Z.N. Alekseenko, O.V. Stukach. Design of the monitoring system based on sensor on Bragg fiber array for the objects with large infrastructure [Electronic]. Youth and modern information technologies: Proceedings of the XII All-Russia scientific-practice conference of students, post-graduates and young researches: in 2 v., Tomsk, November 12–14, 2014. TPU. Vol. 1. P. 335-336. [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04\\_V1.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04_V1.pdf)
- [2] A. H. Hartog. A distributed temperature sensor based on liquid-core optical fibers. Journal Lightwave Technol. 1983. N 1. P. 498–509.
- [3] J. P. Dakin, D. J. Pratt, G. W. Bibby, J. N. Ross. Distributed optical fiber Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector. Electron. Lett. 1985. № 21. C. 569–570.
- [4] X. Bao, D. J. Webb, D. A. Jackson. Combined distributed temperature and strain sensor based on Brillouin loss in an optical fiber. Opt. Lett. 1994. № 19. C. 141–143.
- [5] B. Culshaw. Optical fiber sensor technologies: opportunities and-perhaps-pitfall. J. Lightwave Technol., vol. 22, no. 1, pp. 39-50, 2004.
- [6] J. Park *et al.*, Raman-based distributed temperature sensor with simplex coding and link optimization. Photon. Tech. Lett., vol. 18, no. 17, pp. 1871-1881, 2006.

# Графический OLED дисплей UG-2864ASGGG14: первое включение

В.А. Жмудь, А.С. Каменская, К.В. Курбетьев, В.Г. Трубин  
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** Рассматриваются основные вопросы, возникающие при освоении OLED дисплея UG-2864ASGGG14 с управлением от отладочной платы STM32VLDISCOVERY.

**Ключевые слова:** Микроконтроллер, STM32, STM32VLDISCOVERY, UG-2864ASGGG14, SH1106, OLED.

## ВВЕДЕНИЕ

В цифровой технике зачастую необходимо обеспечить обмен информацией между оборудованием и его пользователем. Это осуществляется с помощью устройств ввода-вывода информации. На данный момент доминирующими устройствами отображения информации являются ЖКИ дисплеи. Однако у данной технологии существует достойный и активно развивающийся конкурент.

Дисплеи на основе органических светодиодов (англ. *organic light-emitting diode*, сокр. *OLED*) обладают следующими свойствами, которые могут позволить им стать лидерами в области плоскопанельных технологий отображения информации:

- отсутствие необходимости в подсветке, т.к. дисплеи *OLED* являются светоизлучающими по своей природе;
- большие углы обзора – изображение видно без потери качества с любого угла;
- высокая яркость и контрастность;
- высокое быстродействие – такие дисплеи обладают практически мгновенным откликом;
- Рабочий температурный диапазон от -40 °С.

## ДИСПЛЕЙ UG-2864ASGGG14

Прежде чем приступить к описанию конкретного выше обозначенного дисплея, важно отметить факт многообразия моделей дисплеев. Различия проявляются в следующем: разрешение экрана, цвет пикселей, тип управляющего контроллера, структура памяти, управляющие команды. Следовательно, вся информация, приведенная в данной статье, относится в первую очередь именно к конкретному дисплею *UG-2864ASGGG14* и, если попробовать, например, запустить тестовый пример, приведенный в статье, подключив дисплей с другим управляющим драйвером, то с высокой вероятностью устройство не заработает. Тем не менее, некоторые общие принципы применимы ко всем моделям.

Вследствие того, что дисплеи *OLED* производятся, в основном, в Китае, может оказаться довольно трудным определить модель конкретного дисплея и найти документацию. Рекомендуется в таком случае в первую очередь внимательно осмотреть плату на предмет идентифицирующих обозначений, также, можно попробовать связаться с продавцом.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Данное устройство представляет собой монохромный *OLED* дисплей с разрешением экрана 128x64 точек, управляемый встроенным драйвером *SH1106*. Обмен информацией производится по интерфейсу *I<sup>2</sup>C*. Дисплей может работать в нескольких режимах: нормальный, с инверсией изображения, пустой экран, полностью заполненный экран. Основные параметры дисплея приведены ниже, более подробную информацию можно найти в документации к дисплею [1]:

- напряжение питания модуля: 5 В;
- напряжение логической «1»: 2.4 – 3.5 В;
- ток в линии питания: 23 – 33 мА;
- ток в линии передачи данных: 180 – 300 мкА;
- диапазон рабочих температур: от -40 до +70 °С;
- время работы: до 40 тысяч часов.

## СТРУКТУРА ДИСПЛЕЯ

Дисплей состоит из матрицы органических микросветодиодов и драйвера управления ими. Имеются четыре вывода, о назначении которых будет рассказано в дальнейшем, и перемычка для выбора адреса устройства, о чем так же подробнее говорится в разделе об управлении. Внешний вид дисплея изображен на *Рис. 1*. Блок-схема драйвера дисплея изображена на *Рис. 2*.

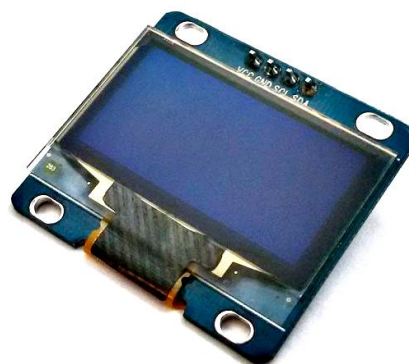


Рис. 1. Внешний вид дисплея UG-2864ASGGG14

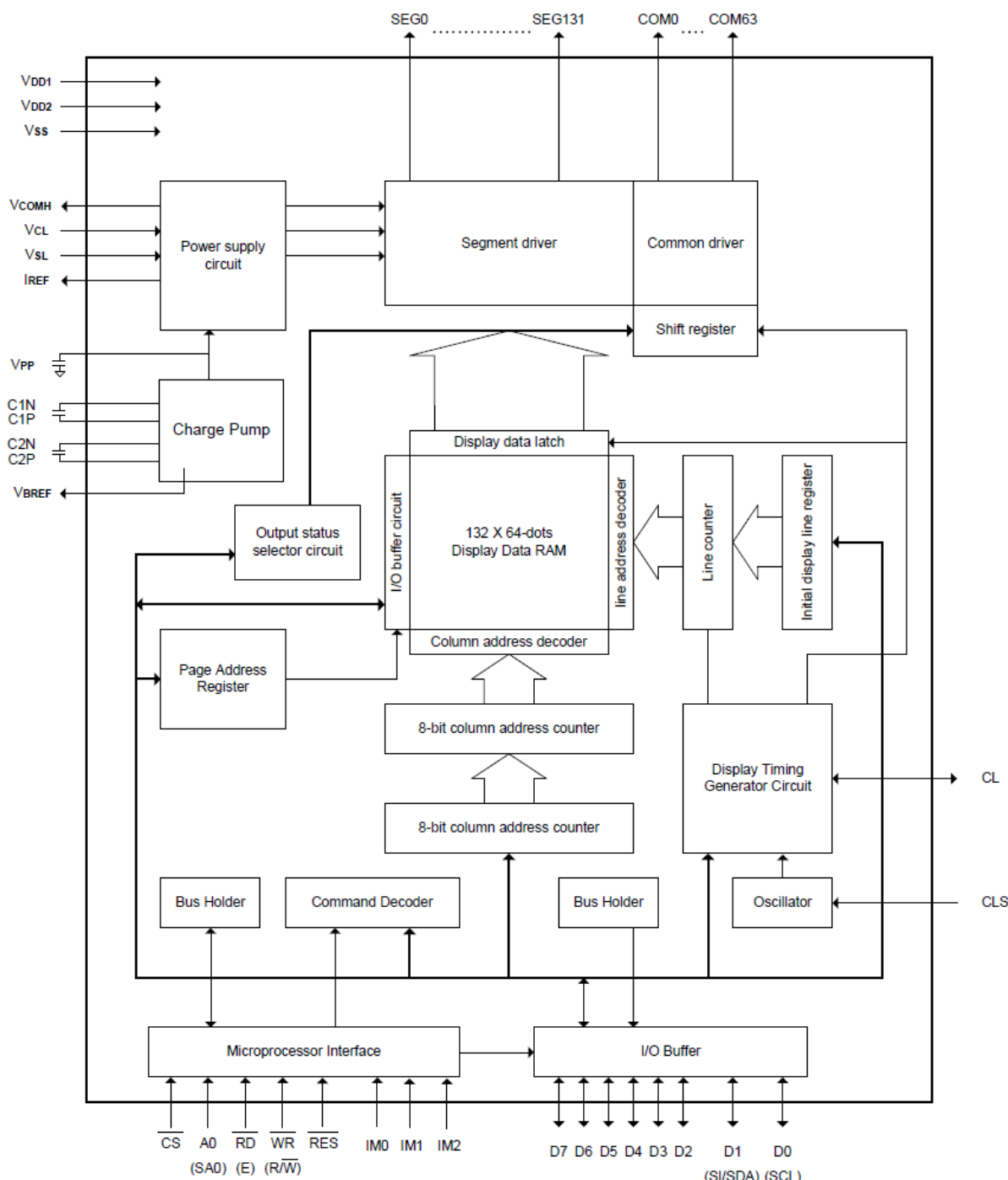


Рис. 2. Блок-схема драйвера SH1106

На данной блок-схеме видно, что информация о состоянии дисплея хранится в оперативной памяти управляющего контроллера (*Display Data RAM*). Кроме того, можно сделать вывод о наличии внутреннего генератора подкачки напряжения (*Charge Pump*), который избавляет от необходимости во внешнем источнике питания. В нашем случае можно будет воспользоваться питанием +5 В от платы *STM32VLDISCOVERY*.

### СТРУКТУРА ОЗУ И МАТРИЦЫ ДИСПЛЕЯ

Матрица пикселей дисплея имеет размер

128x64. Таким образом, имеется 64 строки, каждая из которых состоит из 128 пикселей. Или, другими словами, имеется 128 колонок, в каждой из которых 64 пикселя.

ОЗУ контроллера дисплея повторяет организацию матрицы пикселей. Если в какой-то бит ОЗУ записана "1", то соответствующий этому биту пиксель на дисплее горит.

Обращение к отдельной строке в данном дисплее не предусмотрено. Обращаться можно только к т.н. странице (*page*). Слово "страница" в данном случае означает просто группу из 8 последовательных строк, не стоит ассоциировать его с привычным нам значением.

Таким образом, всего имеется 8 (64/8=8) страниц (Page0-Page7). Так, строка 10 будет принадлежать странице Page1, строка 60 - странице Page7.

Координата (0,0) соответствует крайнему

верхнему левому пикселю дисплея, координата (127, 63) - крайнему правому нижнему (строки, колонки, страницы нумеруются с "0").

Приведем небольшой пример для пояснения.

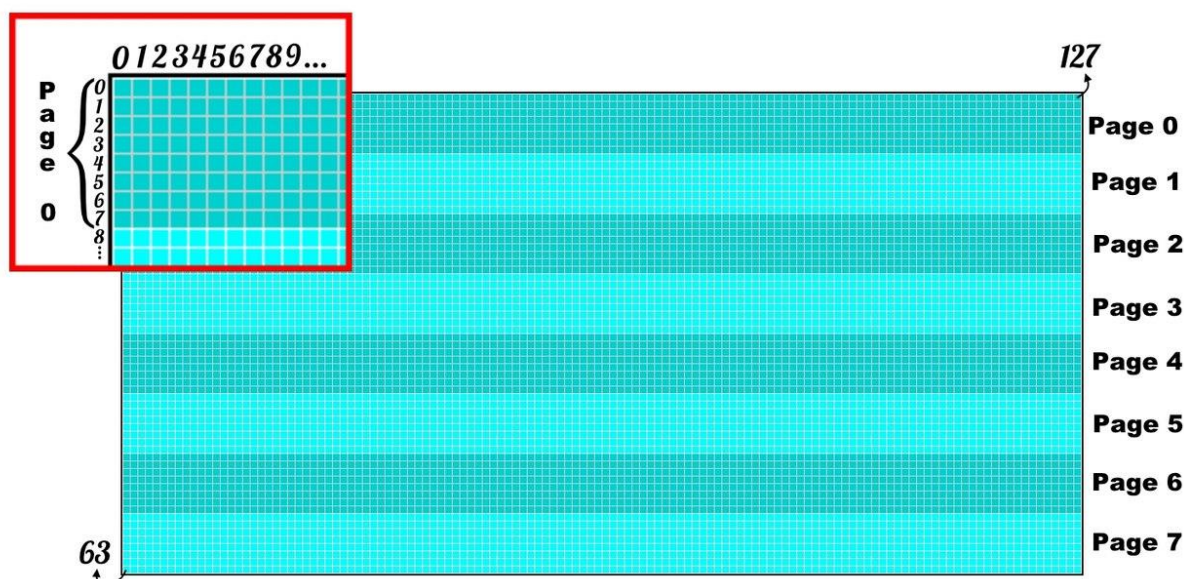


Рис. 3. Схема пиксельной матрицы дисплея

Допустим, необходимо зажечь один пиксель с адресом (78; 22) (22 строка, 78 пиксель при отсчете слева направо). Для этого нужно установить в "1" один бит ОЗУ на соответствующей позиции. Для позиционирования задаем адрес колонки (78) и адрес страницы (страницы, а не строки!). Из вышесказанного очевидно, что 22-ой строке соответствует страница Page2 (которая включает в себя строки 16-23). После задания колонки и страницы позиционирование произведено, осталось записать данные. Необходимо зажечь только один пиксель, то есть установить в "1" один бит в ОЗУ. Однако записать один бит нельзя, можно только байт. Поэтому в остальные 7 бит на данной странице необходимо записать "0", чтобы соответствующие пиксели не светились. Таким образом, записываем байт (0b01000000) который приводит к зажжению пикселя с адресом (78; 22). Если при таком же позиционировании был бы записан, например, байт (0b00000001), зажгется бы пиксель с адресом (78, 16).

Неприятной особенностью данного дисплея является то, что ОЗУ имеет 132 бита в строке, что больше, чем 128 пикселей в строке дисплея. При записи в первые две колонки (т.е. 1-ая и 2-ая) и последние две колонки (131-ая и 132-ая) ОЗУ на дисплее ничего не происходит. Данную особенность необходимо учитывать при написании управляющей программы.

### ИНТЕРФЕЙС I<sup>2</sup>C

Управление и обмен данными с дисплеем

осуществляются по интерфейсу I<sup>2</sup>C. Для управления устройствами по этому интерфейсу используются две двунаправленные линии связи: SDA (последовательная линия данных) и SCL (последовательная линия тактирования). Такты генерирует ведущее устройство, ведомое лишь «отчитывается» при приёме байта. Рассматриваемый дисплей может выступать только в качестве ведомого (slave) устройства.

Процедура обмена начинается с того, что ведущий формирует состояние «СТАРТ»: генерирует переход сигнала линии SDA из «ВЫСОКОГО» состояния в «НИЗКОЕ» при «ВЫСОКОМ» уровне на линии SCL. Этот переход воспринимается подключенным к шине устройством как признак начала процедуры обмена. Генерация синхросигнала — это всегда обманность ведущего. Процедура обмена завершается тем, что ведущий формирует состояние «СТОП» — переход состояния линии SDA из низкого состояния в «ВЫСОКОЕ» при «ВЫСОКОМ» состоянии линии SCL. Состояния «СТАРТ» и «СТОП» всегда вырабатываются ведущим. Считается, что шина занята после фиксации состояния «СТАРТ». Шина считается освобожденной через некоторое время после фиксации состояния «СТОП». При передаче посылки по шине I<sup>2</sup>C ведущий генерирует свой синхросигнал на линии SCL. После формирования состояния «СТАРТ» ведущий опускает состояние линии SCL в «НИЗКОЕ» состояние и выставляет на линию SDA старший бит первого байта сообщения. Количество байт в сообщении не ограничено. Спецификация шины I<sup>2</sup>C разрешает изменения на линии SDA

только при «НИЗКОМ» уровне сигнала на линии *SCL*. Данные действительны и должны оставаться стабильными только во время «ВЫСОКОГО» состояния синхроимпульса. Для подтверждения приёма байта от ведущего-

передатчика ведомым-приёмником в спецификации протокола обмена по шине *I<sup>2</sup>C* вводится специальный бит подтверждения, выставляемый на шину *SDA* после приёма 8 бита данных.

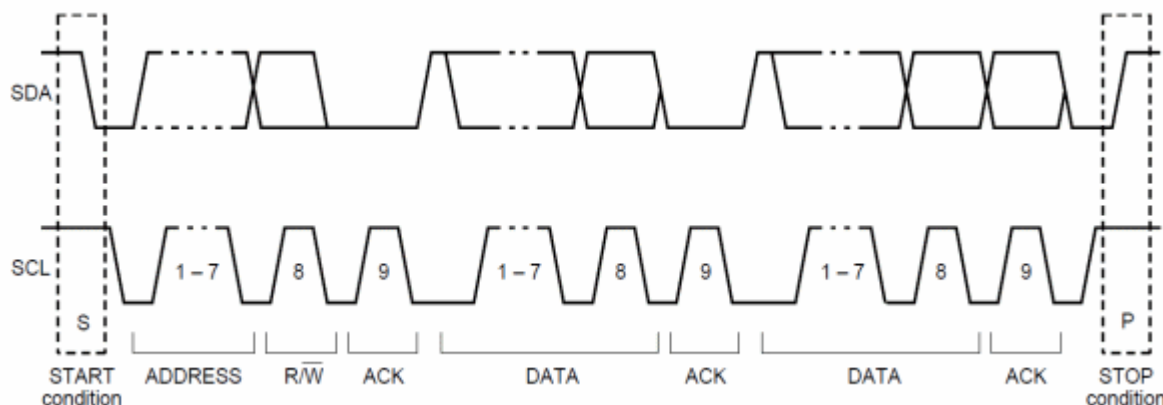


Рис. 4. Порядок сообщения по интерфейсу *I<sup>2</sup>C*

Передача 8 бит данных от передатчика к приёмнику завершается дополнительным циклом (формированием 9-го тактового импульса линии *SCL*), при котором приёмник выставляет низкий уровень сигнала на линии *SDA*, как признак успешного приёма байта. Подтверждение при передаче данных обязательно, кроме случаев окончания передачи ведомой стороной. Соответствующий импульс синхронизации генерируется ведущим. Передатчик отпускает («ВЫСОКОЕ» состояние) линию *SDA* на время синхроимпульса подтверждения. Приёмник должен удерживать линию *SDA* в течение «ВЫСОКОГО» состояния синхроимпульса подтверждения в стабильном «НИЗКОМ» состоянии.

В том случае, когда ведомый-приёмник не может подтвердить свой адрес (например, когда он выполняет в данный момент какие-либо функции реального времени), линия данных должна быть оставлена в «ВЫСОКОМ» состоянии. После этого ведущий может выдать состояние «СТОП» для прерывания пересылки данных. Если в пересылке участвует ведущий-приёмник, то он должен сообщить об окончании передачи ведомому-передатчику путем не подтверждения последнего байта. Ведомый-передатчик должен освободить линию данных для того, чтобы позволить ведущему выдать состояние «СТОП» или повторить состояние «СТАРТ». Более подробную информацию можно найти на Википедии [2] или других электронных ресурсах.

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Дисплей принимает два вида байт: байты управления, записываемые в регистры управления контроллера, и байты данных, записываемые в оперативную память. Перед отправкой команды или данных сначала посылается управляющий байт, в котором значение определенного бита определяет, будет

ли следующий передаваемый байт командой или данными для записи в оперативную память. Выбор режима записи или считывания данных определяется другим битом, значение которого устанавливается в процессе работы по *I<sup>2</sup>C*.

В управлении данным дисплеем имеется ряд нюансов, которые необходимо осветить. Хотя при отправлении данных автоматический инкрементируется счетчик адреса колонки, что позволяет записывать несколько байт информации в автоматическом режиме, этого не происходит со счетчиком адреса страницы, поэтому страницы необходимо переключать вручную с помощью предусмотренной для этого команды управления (см. Список команд управления). Адреса страниц и колонок не зависят друг от друга. Кроме того, как отмечалось выше, в памяти дисплея на 4x8 ячеек больше, нежели имеется точек на дисплее, поэтому при записи данных во избежание некорректного (смещенного) отображения информации следует устанавливать адрес колонки с дополнительным сдвигом на две колонки.

В случае, если необходимо подключить к управляющему устройству два дисплея и выводить на каждый разную информацию, следует на одном из дисплеев переставить резистор-перемычку, отвечающий за адрес устройства. Он расположен на обратной стороне дисплея и позволяет установить адрес устройства как 0x68 или 0x69.

Возможности дисплея позволяют без особых трудностей организовать с помощью встроенных команд управления вертикальную прокрутку и различные способы отображения информации на дисплей. (см. Список команд управления и документацию).

## СПИСОК КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ

Ниже приведены команды управления дисплеем в шестнадцатеричной системе



счисления. Некоторые команды, например, установка адреса страницы, представляют собой некоторый диапазон, соответствующий в обозначенном примере количеству страниц.

*Установка старших битов адреса колонки (00H - 0FH).*

*Установка младших битов адреса колонки (10H - 1FH).*

Устанавливает восьмибитный адрес колонки, разделенный на старшую и младшую составляющую, в оперативной памяти дисплея.

*Управление встроенным источником напряжения.*

При вызове команд управления состоянием источника напряжения дисплей должен быть выключен.

Вход в режим управления источником напряжения (ADH);

Выкл/вкл внутренний источник напряжения (8AH/8BH).

*Установка значения подкачки напряжения (30H - 3FH).*

Устанавливает выходное напряжение встроенного источника напряжения (7.4 – 9 В).

*Установка начальной строки (40H-7FH).*

Устанавливает адрес строки, с которой начинается вывод информации. Выбранная в памяти контроллера строка окажется верхней на дисплее.

*Настройка контрастности.*

Устанавливает значение контраста дисплея из 256 возможных в диапазоне 00H – FFH. Включает две команды:

Вход в режим управления контрастом (81H);

Установка значения контраста (00H – FFH). После отправки данной команды, происходит автоматический выход из режима управления контрастом.

*Установка режима отображения (A0H/A1H).*

Устанавливает инверсный или нормальный режим отображения информации. Иными словами, позволяет отображать информацию зеркально.

*Выкл/вкл режим подсветки всего дисплея (A4H /A5H).*

Устанавливает нормальный режим работы дисплея или принудительно зажигает все светодиоды.

*Выкл/вкл инверсию состояний точек дисплея (A6H /A7H).*

Определяет нормальный режим работы дисплея, либо инверсный, в котором в зависимости от содержимого оперативной памяти все выключенные светодиоды включаются, а включенные – выключаются.

*Выкл/вкл дисплей (AEH/AFH).*

*Установка адреса страницы (B0H-B7H).*

Приведенный список команд является неполным. Полный список управляющих команд и их подробное описание можно найти в

документации [1].

## ПОДКЛЮЧЕНИЕ ДИСПЛЕЯ К STM32VLDISCOVERY

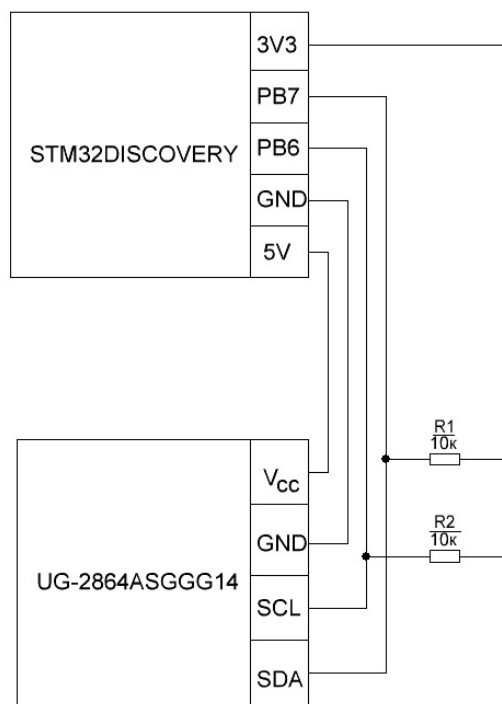


Рис. 5. Схема подключения дисплея к плате

Для подключения дисплея к плате используются четыре вывода, однако для работы интерфейса I<sup>2</sup>C строго необходимы подтягивающие к напряжению уровня логической «1» резисторы. Это объясняется тем, что передача сигналов осуществляется «притягиванием» линии к «0», а в состоянии «1» она устанавливается автоматически благодаря подтяжке.

На вход V<sub>cc</sub> питания дисплея подается напряжение 5 В, которое поступает на стабилизатор и питает контроллер, а также на множитель напряжения, чтобы питать матрицу светодиодов. Следует обратить внимание, что контроллер дисплея питается от 3,3 В, соответственно и уровень логической «1» так же близок к этому напряжению. В нашем случае, при инициализации дисплея, необходимо подключить внутренний генератор подкачки напряжения.

## ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР

В качестве тестового примера рассмотрим заполнение дисплея константой. Последовательность действий:

1. Настройка подсистемы I<sup>2</sup>C №1 в микроконтроллере.
2. Настройка дисплея.
3. Вывод тестовой информации на дисплей.

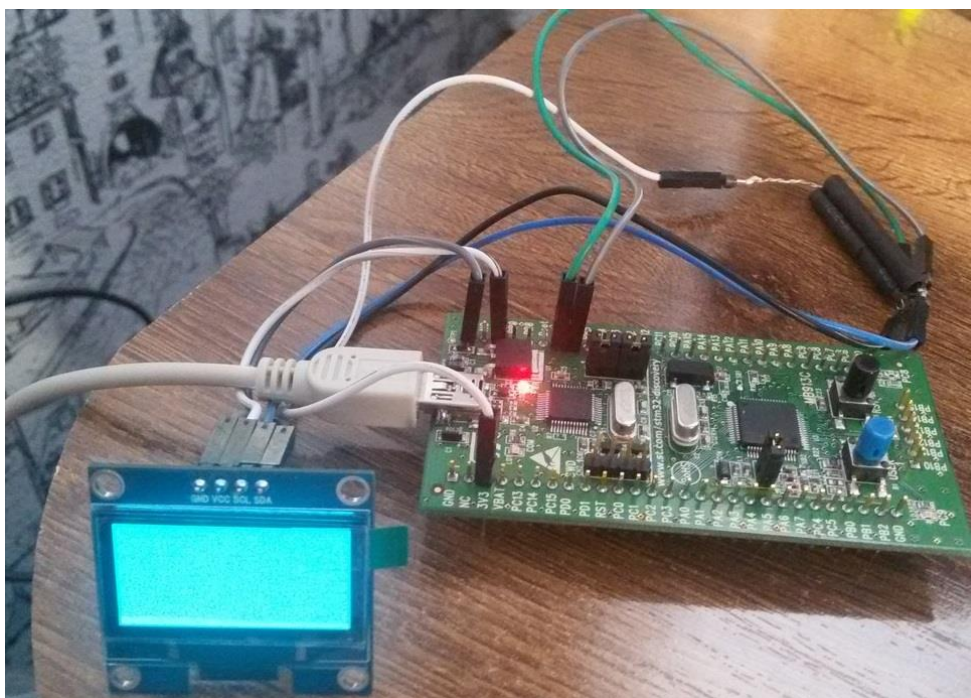


Рис. 6. Схема в собранном состоянии

**Содержимое файла SH1106.h:**

```
#ifndef __SH1106_H
#define __SH1106_H
#include "stm32f10x.h"
#define SH1106_I2C_ADDRESS          0x78
#define SH1106_I2C_SPEED            100000 //300000
// GPIO OLED
#define SH1106_I2C                  I2C1
#define SH1106_I2C_CLK              RCC_APB1Periph_I2C1
#define SH1106_I2C_SCL_PIN          GPIO_Pin_6
#define SH1106_I2C_SCL_GPIO_PORT    GPIOB
#define SH1106_I2C_SCL_GPIO_CLK     RCC_APB2Periph_GPIOB
#define SH1106_I2C_SDA_PIN          GPIO_Pin_7
#define SH1106_I2C_SDA_GPIO_PORT    GPIOB
#define SH1106_I2C_SDA_GPIO_CLK     RCC_APB2Periph_GPIOB
#define SH1106_I2C_DR                ((uint32_t)0x40005410)
void OLED_SH1106_I2C_init(void);
void UG2864ASGG14_Init(void);
void OLED_SH1106_Clear(uint8_t data);
#endif
```

**Содержимое файла SH1106.c:**

```
#include "stm32f10x.h"
#include "sh1106.h"
//===== Настройка интерфейса I2C =====
void OLED_SH1106_I2C_init(void) {
    I2C_InitTypeDef I2C_InitStructure;
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    RCC_APB1PeriphClockCmd(SH1106_I2C_CLK, ENABLE);
    RCC_APB2PeriphClockCmd(SH1106_I2C_SCL_GPIO_CLK | SH1106_I2C_SDA_GPIO_CLK,
    ENABLE);

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = SH1106_I2C_SCL_PIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_10MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_OD;
    GPIO_Init(SH1106_I2C_SCL_GPIO_PORT, &GPIO_InitStructure);

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = SH1106_I2C_SDA_PIN;
    GPIO_Init(SH1106_I2C_SDA_GPIO_PORT, &GPIO_InitStructure);
}
```

```

I2C_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
I2C_InitStructure.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;
I2C_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = SH1106_I2C_ADDRESS;
I2C_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
I2C_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress= I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
I2C_InitStructure.I2C_ClockSpeed = SH1106_I2C_SPEED;

I2C_Cmd(SH1106_I2C, ENABLE);
I2C_Init(SH1106_I2C, &I2C_InitStructure);
}

//===== Передача команды по I2C =====
void WriteC(uint8_t COM) {
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_BUSY));

I2C_GenerateSTART(I2C1, ENABLE);
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));

// адрес устройства
I2C_Send7bitAddress(I2C1, 0x78, I2C_Direction_Transmitter);
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED));

I2C_SendData(I2C1, 0x00); // контрольный байт
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));

I2C_SendData(I2C1, COM); // команда
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));

I2C_GenerateSTOP(I2C1, ENABLE);
}

//===== Передача данных по I2C =====
void WriteD(uint8_t DAT) {
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_BUSY));

I2C_GenerateSTART(I2C1, ENABLE);
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));

// адрес устройства
I2C_Send7bitAddress(I2C1, 0x78, I2C_Direction_Transmitter);
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED));

I2C_SendData(I2C1, 0x40); // контрольный байт
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));

I2C_SendData(I2C1, DAT); // данные
while (!I2C_CheckEvent(I2C1, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));

I2C_GenerateSTOP(I2C1, ENABLE);
}

//===== Минимальная настройка дисплея UG-2864ASGGG14 =====
void UG2864ASGGG14_Init(void) {
WriteC(0xAE); /*выключить дисплей*/
WriteC(0x00); /*младшие биты адреса колонки*/
WriteC(0x10); /*старшие биты адреса колонки*/
WriteC(0x40); /*стартовая строка*/
WriteC(0xB0); /*стартовая страница*/
WriteC(0x81); /*установка контраста*/
WriteC(0x80); /*128*/
WriteC(0xA1); /*отображение слева направо*/
WriteC(0xA6); /*нормальный режим*/
WriteC(0xad); /*включить генератор подкачки 7.4В*/
}

```

```
WriteC(0x8b);
WriteC(0x30);
WriteC(0xAF);    /*включить дисплей*/
}

//===== Заполнение всего дисплея константой =====
void OLED_SH1106_Clear() {
static uint8_t page = 0xB0;
uint8_t x, y;
for(y = 0; y < 8; y++) {
    WriteC(page);
    page++;
for(x = 0; x < 132; x++){
    WriteD(0x02); }
}
//-----
page = 0xB0;
}
```

#### Содержимое файла main.c:

```
#include <stm32f10x.h>
#include "sh1106.h"
int main(void)
{
uint32_t i32;
for (i32=0; i32<100000; i32++) ; // Программная задержка
OLED_SH1106_I2C_init(); // Настройка I2C
for (i32=0; i32<100000; i32++) ;
UG2864ASGGG14_Init(); // Настройка дисплея
for (i32=0; i32<100000; i32++) ;
while (1) {
    for (s=0; s<256; s++) OLED_SH1106_Clear();
}
}
```



Рис. 7. Тестовый пример



Рис. 8. Демонстрация возможностей дисплея по выводу растровой графики

#### ВЫВОДЫ

- Дисплей *OLED* является относительно простым в подключении устройством.

• Характеристики данного устройства позволяют в короткие сроки создавать качественные и гибкие в настройке устройства вывода информации с богатыми возможностями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности», проект № 471.

#### ЛИТЕРАТУРА

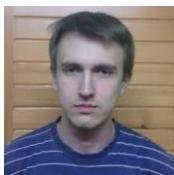
- [1] SH1106 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.rhydolabz.com/documents/sh1106\\_datash\\_eet.pdf](http://www.rhydolabz.com/documents/sh1106_datash_eet.pdf)
- [2] I<sup>2</sup>C [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>



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



**Каменская Анна Сергеевна** - студентка группы АА-36 кафедры Автоматики НГТУ.  
E-mail: [ladymacbeth94@yandex.ru](mailto:ladymacbeth94@yandex.ru)



**Курбетьев Константин Вячеславович** - студент группы АА-37 кафедры Автоматики НГТУ.  
E-mail: [kkurbetev@mail.ru](mailto:kkurbetev@mail.ru)



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

## **Graphic OLED Display UG-2864ASYGG14: First Start**

V.A. Zhmud, A.S. Kamenskaya, K.V. Kurbetyev, V.G. Trubin

*Abstract:* The paper discusses main issues arising according the development of OLED display based on UG-2864ASGGG14, which is controlled by the debug board STM32VLDISCOVERY.

*Key words:* microcontroller, STM32, STM32VLDISCOVERY, UG-2864ASGGG14, SH1106, OLED.

# Разработка алгоритмов раскачки и стабилизации обратного маятника, закрепленного на валу двигателя

Эмирбеков Н.Э., Эмирбеков М.Э.  
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** Данная статья посвящена разработке алгоритмов раскачки и стабилизации обратного маятника, закрепленного на валу двигателя. Показывается описание математической модели объекта, приводятся нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие его поведение. Осуществляется переход к линеаризованной модели, для которой проводится исследование основных качественных свойств. Предлагается алгоритм раскачки маятника из устойчивого положения в область точки неустойчивого равновесия. Разрабатывается алгоритм стабилизации, позволяющий обеспечить требуемое качество переходного процесса в системе. Проводится моделирование замкнутой системы в программной среде Matlab Simulink.

**Ключевые слова:** обратный маятник, раскачка, стабилизация, регулятор.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема раскачки и стабилизации объекта управления «обратный маятник» предполагает решение ряда достаточно сложных задач. Их можно условно разделить на два класса. Первый включает в себя задачи, носящие выраженный исследовательский характер. К ним относится анализ достоинств и недостатков уже известных подходов к синтезу системы стабилизации [1-7], позволяющих реализовать в системе процессы заданного качества, моделирования замкнутой системы и анализ полученных результатов. Второй класс задач связан с технической реализацией системы управления, разработку программного обеспечения, отладочных средств. Особенностью данной работы является то, что здесь рассмотрена система с переменной структурой, то есть в зависимости от параметров объекта управления алгоритм управления изменяется. Задача стабилизации объекта управления «обратный маятник» является актуальной и может иметь достаточно широкие области применения. Данный алгоритм стабилизации может быть применен в робототехнике при движении роботогуманоидов [8-9]. С помощью двигателей

изменяется угол расположения составных частей робота, что позволяет сохранить его точку равновесия и не дает ему упасть.

Обсуждаемый объект управления представляет собой однородный стержень, закрепленный на валу двигателя, который управляет его движением при помощи прикладываемой силы. Схематическое представление системы «обратный маятник, закрепленный на валу двигателя» представлено на Рис.1.

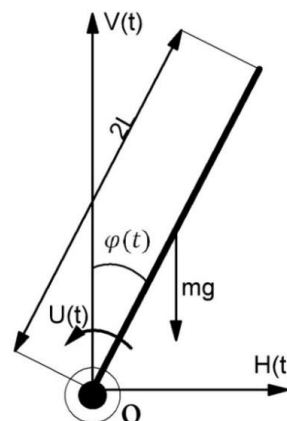


Рис. 1. Система «обратный маятник, закрепленный на валу двигателя»

Здесь  $\varphi(t)$  – угол отклонения маятника от вертикали (выходная переменная),  $U(t)$  – момент прикладываемой силы (выходная переменная),  $m$  – масса маятника,  $2L$  – длина маятника,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $H(t)$  и  $V(t)$  – горизонтальная и вертикальная силы реакции у оси маятника.

## 1. ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «ОБРАТНЫЙ МАЯТНИК» И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА

Модель объекта «обратный маятник» можно получить с помощью уравнений второго закона Ньютона [10]:

$$J \cdot \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) = LV(t) - LH(t) \cdot \cos \varphi(t) + U(t) \quad (1)$$

Для объекта справедливы вспомогательные уравнения:

$$\begin{cases} m \frac{d^2}{dt^2} (L \cdot \sin\varphi(t)) = H(t) \\ m \frac{d^2}{dt^2} (L \cdot \cos\varphi(t)) = V(t) - mg \end{cases} \quad (2)$$

Здесь  $J$  – момент инерции маятника, который рассчитывается по формуле:

$$J = \frac{mL^2}{12} \quad (3)$$

Уравнения (2) можно преобразовать к виду:

$$\begin{cases} mL\ddot{\varphi}(t) \cdot \cos\varphi(t) - \\ -mL\dot{\varphi}^2(t) \cdot \sin\varphi(t) = H(t), \\ -mL\ddot{\varphi}(t) \cdot \sin\varphi(t) - mL\dot{\varphi}^2(t) \cdot \\ \cdot \cos\varphi(t) = V(t) - mg. \end{cases} \quad (4)$$

Подставим уравнения (4) в уравнения (1) и выполним некоторые преобразования. В результате получим нелинейное дифференциальное уравнение, которое описывает поведение системы «обратный маятник, закрепленный на валу двигателя»:

$$\ddot{\varphi}(t) = \frac{g}{L'} \sin\varphi(t) + \frac{1}{mLL'} U(t), \quad (5)$$

где  $L'$  – эффективная длина маятника [10], которая рассчитывается по формуле:

$$L' = \frac{J + mL^2}{mL},$$

Задачу синтеза, которую необходимо решить для данного объекта, можно разделить на два этапа:

1. Раскачка маятника из положения устойчивого равновесия до приближения угла маятника к возможности стабилизации его в положении неустойчивого равновесия, при ограниченном управляющем воздействии.

2. Приведение угла отклонения маятника от вертикали к нулевому значению.

Формально задача синтеза для данного объекта, как для объекта с переменной структурой, записывается следующим образом:

$$\begin{cases} \varphi(0) = \pi \Rightarrow \varphi(t) = [-\varphi; \varphi], \text{ где } \varphi = 5^\circ \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) = 0, \end{cases} \quad (6)$$

при выполнении требований по быстродействию к переходному процессу в системе  $t_{\text{п}} \leq t_{\text{п}}^*$ .

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПО ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ

Перед выбором алгоритма стабилизации системы «обратный маятник» необходимо проверить, что задача синтеза в постановке (6) будет иметь решение.

Для этого необходимо перейти к линеаризованной модели объекта.

Допустим, что угол отклонения маятника от вертикали изменяется в диапазоне  $-5^\circ \leq \varphi \leq 5^\circ$ , и разложим  $\sin\varphi(t)$  в ряд Тейлора с подстановкой только первого члена ряда разложения [11]:

$$\sin\varphi(t) = \varphi - \frac{\varphi^3}{3} + \dots \approx \varphi. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (5), получим линеаризованное дифференциальное уравнение, которое описывает поведение объекта управления в рабочей точке.

$$\ddot{\varphi}(t) = \frac{g}{L'} \varphi(t) + \frac{1}{mLL'} U(t). \quad (8)$$

Перейдем к описанию модели объекта в переменных состояния. В качестве компонент вектора состояния выберем угол отклонения маятника от вертикали и его первую производную:

$$x_1 = \varphi(t), \quad x_2 = \dot{\varphi}(t). \quad (9)$$

В результате уравнения состояния примут следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = \frac{g}{L'} x_1 + \frac{1}{mLL'} U, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (10)$$

Структурная схема объекта управления «обратный маятник», соответствующая системе уравнений (10), представлена на Рис. 2.

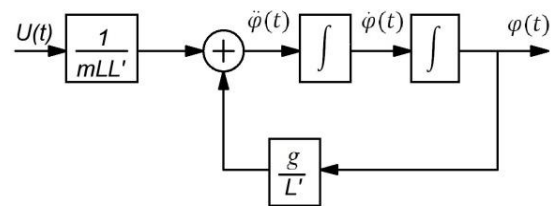


Рис. 2. Структурная схема системы «обратный маятник»

Найдем множество равновесных состояний системы, для чего приравняем производные правой части (10) к нулю.

$$\begin{cases} 0 = x_2, \\ 0 = \frac{g}{L'} x_1 + \frac{1}{mLL'} U. \end{cases} \quad (11)$$

Решив уравнения относительно неизвестных, получим:

$$\begin{cases} x_2 = 0, \\ x_1 = -\frac{1}{mgL} U. \end{cases} \quad (12)$$

При управлении  $U=0$ , для координат  $x_1$  и  $x_2$  точкой равновесия является 0.

Таким образом, для модели объекта (10) задача стабилизации угла маятника в 0 разрешима, т.к. это точка принадлежит к множеству равновесных состояний объекта [12].

Запишем матрицу  $A$  – собственных свойств,  $B$  – вектор управляющих воздействии и  $C$  – вектор выхода модели объекта (10):

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{g}{L'} & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{mLL'} \end{bmatrix} \quad C = [1 \quad 0]$$

Устойчивость системы можно определить по собственным числам матрицы  $A$ :

$$\det(pI - A) = 0, \quad (13)$$

где  $p$  – оператор дифференцирования,  $I$  – единичная диагональная матрица  $2 \times 2$ .

Собственные числа принимают значения:

$$\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{g}{L'}} \quad (14)$$

Объект неустойчив, т.к. одно из собственных чисел имеет положительную вещественную часть [12].

В условия разрешимости задачи синтеза также входят анализ управляемости и наблюдаемости объекта управления.

Из [12] известно, что  $n$ -мерный объект управляем тогда и только тогда, когда матрица управляемости:

$$U = (B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B) \quad (15)$$

имеет полный ранг. Так как объект одноканальный, то критерий управляемости принимает вид:

$$\det U \neq 0.$$

Матрица управляемости объекта имеет вид:

$$U = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{mLL'} \\ \frac{1}{mLL'} & 0 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Очевидно, что определитель матрицы  $U$  ненулевой, из этого следует, что объект является полностью управляемым.

Из [12] известно, что  $n$ -мерный объект наблюдаем тогда и только тогда, когда матрица наблюдаемости:

$$N = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

имеет полный ранг, то есть, для одноканального объекта:

$$\det N \neq 0$$

Матрица наблюдаемости имеет следующий вид:

$$N = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Очевидно, что определитель матрицы  $N$  ненулевой, из этого следует, что объект является полностью наблюдаемым.

Из исследования математической модели системы следует, что объект наблюдаем, управляем и имеет реализуемое состояние равновесия. Таким образом, задача синтеза является разрешимой, можно переходить к разработке алгоритмов раскочки и стабилизации.

### 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСКОЧКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ОБРАТНЫЙ МАЯТНИК»

Т.к. в постановке задачи синтеза (5), угол отклонения маятника изменяется в диапазоне  $-5^\circ \leq \varphi \leq 5^\circ$ , предложен алгоритм раскочки маятника из устойчивого положения равновесия до диапазона углов, в котором возможна стабилизация в положении неустойчивого равновесия. Блок схема алгоритма раскочки представлена на Рис. 3.

Для решения второй части задачи, то есть для стабилизации маятника, предложено использовать метод синтеза, который обеспечивает заданную реакцию системы на начальные условия, то есть модальный метод [10, 12].

Описание объекта управления в переменных состояниях (10) преобразуем к виду:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = a_1 x_1 + a_2 U, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (19)$$

$$\text{где } a_1 = \frac{g}{L'}, a_2 = \frac{1}{mLL'}.$$

Метод синтеза предполагает организацию следующего закона управления:

$$U = -Kx \Rightarrow U = -k_1 x_1 - k_2 x_2, \quad (20)$$

где  $K$  – вектор коэффициентов регулятора, который нужно рассчитать.

Подставляя (20) в (19), получим описание замкнутой системы:



$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = (a_1 - a_2 k_1) \cdot x_1 - a_2 k_2 x_2, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (21)$$

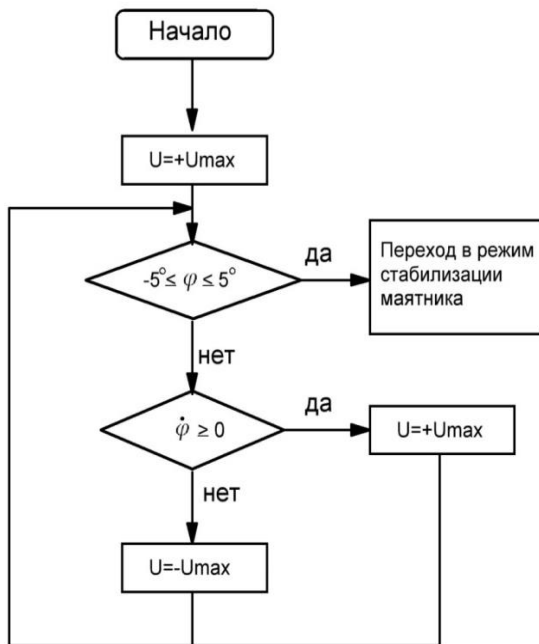


Рис.3 Блок схема алгоритма раскачки «обратного маятника»

Запишем характеристическое уравнение системы (21):

$$A(p) = p^2 - a_2 k_2 p - (a_1 + a_2 k_1) = 0. \quad (22)$$

По требованиям к качеству работы системы формируется желаемое уравнение:

$$C(p) = (p - \lambda_1) \cdot (p - \lambda_2) = p^2 + c_2 p + c_1. \quad (23)$$

Приравнявая коэффициенты при соответствующих степенях характеристического уравнения (22) и желаемого уравнения (23), получим соотношения для расчета параметров регулятора:

$$\begin{cases} -(a_1 + a_2 k_1) = c_1, \\ -a_2 k_2 = c_2. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_1 = -\frac{c_1 + a_1}{a_2}, \\ k_2 = -\frac{c_2}{a_2}. \end{cases} \quad (24)$$

### ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР РАСЧЕТА И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

В Табл. 1 представлены численные значения объекта управления «обратный маятник».

Требование к качеству переходного процесса следующее:

$$t_{\text{п}} \leq 1 \text{ с.}$$

На Рис. 4 представлена структурная схема замкнутой системы.

Таблица 1

Параметр	Значение	Единица измерения
$m$ , масса маятника	0,05	кг
$L$ , половина длины маятника	0,05	м
$g$ , ускорение силы тяжести	9,81	м/с <sup>2</sup>
$L'$ , эффективная длина маятника	0,054	м
$J$ , момент инерции маятника	$1.04 \cdot 10^{-6}$	кг · м

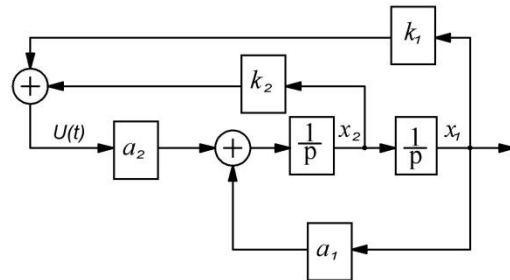


Рис.4 Структурная схема замкнутой системы с регулятором

Рассчитанные параметры объекта и регулятора следующие:

$$a_1 = 181.67, \quad a_2 = 7407.40,$$

$$k_1 = -0.0256, \quad k_2 = -0.0022$$

На Рис. 5 представлены переходные процессы в системе стабилизации при следующих начальных углах отклонения маятника от вертикали:

$$\begin{aligned} \varphi_{01} &= 0.122 \text{ рад}; \quad \varphi_{02} = 0.087 \text{ рад}; \\ \varphi_{03} &= 0.052 \text{ рад}; \end{aligned}$$

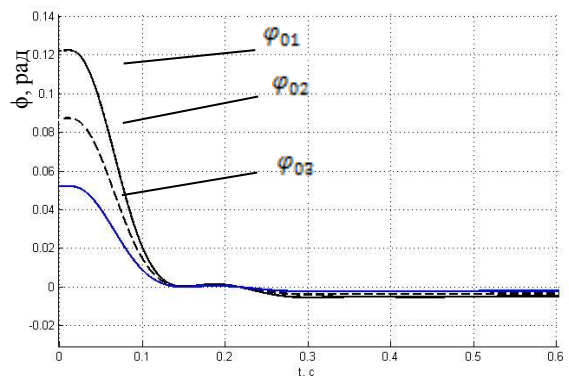


Рис. 5 Переходные процессы в системе с регулятором

На Рис. 6 представлены переходные процессы в системе стабилизации при следующих начальных углах отклонения маятника от вертикали:

$$\begin{aligned} \varphi_{01} &= -0.122 \text{ рад}; \quad \varphi_{02} = -0.087 \text{ рад}; \\ \varphi_{03} &= -0.052 \text{ рад}; \end{aligned}$$

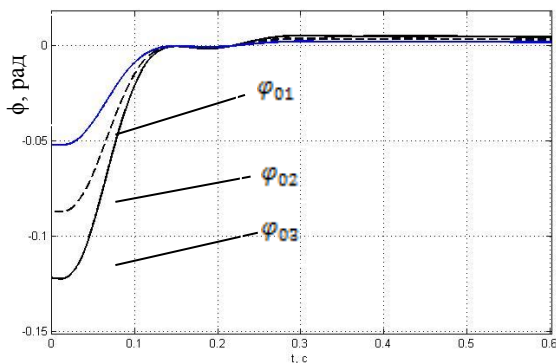


Рис.6. Переходные процессы в системе с регулятором

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была рассмотрена задача стабилизации модельной системы «обратный маятник, закрепленный на валу двигателя». Приведены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие динамику данного объекта, и сформулированы задачи синтеза. Осуществлен переход к линеаризованной модели, для которой проведен анализ ее качественных свойств. Предложен алгоритм раскачки обратного маятника из устойчивого положения в окрестность точки неустойчивого равновесия. Также предложен алгоритм стабилизации системы на основе модального метода синтеза. Приведены результаты моделирования замкнутой системы в среде MatLab Simulink, которые подтверждают, что в замкнутой системе с регулятором удастся добиться процессов заданного качества.

В дальнейшей работе планируется разработать учебный стенд «обратный маятник, закрепленный на валу двигателя» на базе микроконтроллера Arduino Mega 2560.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 232 с.
- [2] Дружинина О.В. и др. Моделирование и построение алгоритма стабилизации перевернутого маятника. Динамика сложных систем -XXI век. 2012. № 4. с. 74-78.
- [3] Саблина Г.В., Дроздова О.Н. Исследование и синтез системы «двойной перевернутый маятник на тележке». Матер. VIII международной н.-т. конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП)». Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2006, Т7, с. 249-252.
- [4] Nishida M., Kaneshide A., Terashima K. Control system of nonlinear process to swing up and stabilize inverted pendulum. Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, № 9, 1995, Vol. 31, p. 1452-1461.
- [5] Андриевский Б.Р., Гузенко П.Ю., Фрадков А.Л. Управление нелинейными колебаниями

механических систем методом скоростного градиента. Автоматика и Телемеханика. М: Наука, 1996.

- [6] Саблина Г.В. Разработка и исследование методики стабилизации объекта управления «каретка-маятник»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск. 2000.
- [7] Саблина Г.В., Сажин А.И. Исследование реального скользящего режима в модельной системе «перевернутый маятник». Автоматика и программная инженерия. 2015, №1(11), с. 9–15
- [8] Hemani H., Golliday C. The inverted pendulum and biped stability. Math. Biosci, 34, 1977, p. 95-110.
- [9] Kieffer J., Bale R. Walking viability and gain synthesis for novel class dynamically-simple biped walking machines. Informatica, 17, 1993, p. 145-155.
- [10] Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М: Мир, 1977. 653 с.
- [11] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд., исправленное. М.: Наука, 1986.
- [12] Востриков А.С., Французова Г.А., Гаврилов Е.Б. Теория автоматического регулирования: Учеб. пособие. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2008. 476 с.



Эмирбеков Нурбек Эмирбекович,  
магистрант каф. Автоматики НГТУ  
email: [wolf\\_2011@mail.ru](mailto:wolf_2011@mail.ru)



Эмирбеков Мирбек Эмирбекович,  
магистрант каф. Автоматики НГТУ  
email: [wolf\\_2011@mail.ru](mailto:wolf_2011@mail.ru)

### Design of swing and stabilization algorithms of the inverse pendulum fixed on a motor shaft

Nurbek Emirbekov, Mirbek Emirbekov

*Abstract.* In this paper, the task of swing and stabilization of the inverse pendulum fixed on a motor shaft is considered. The nonlinear differential equations describing this system behavior are given and transition to its linearized model is performed. The swing algorithm of the pendulum from stable position to area of a point of an unstable equilibrium is offered. The stabilization algorithm allowing to ensure demanded quality of transient in system is developed. Simulation of the closed system with the controller in Matlab Simulink program environment is spent.

*Key words:* inverse pendulum, swing, stabilization, controller.

### REFERENCES

- [1] Formal'skij A.M. Upravlenie dvizheniem neustojchivyh ob'ektov. M.: FIZMATLIT, 2012. 232 s.

- [2] Druzhinina O.V. i dr. Modelirovanie i postroenie algoritma stabilizacii perevernutoho majatnika. Dinamika slozhnyh sistem -XXI vek. 2012. № 4. s. 74-78.
- [3] Sablina G.V., Drozdova O.N. Issledovanie i sintez sistemy «dvojnoj perevernutyj majatnik na telezhke». Mater. VIII mezhdunarodnoj n.-t. konferencii «Aktual'nye problemy jelektronogo priborostroenija (APJeP)». Novosibirsk, Izd-vo NGTU, 2006, T7, s. 249-252.
- [4] Nishida M., Kaneshide A., Terashima K. Control system of nonlinear process to swing up and stabilize inverted pendulum. Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, № 9, 1995, Vol. 31, p. 1452-1461.
- [5] Andrievskij B.R., Guzenko P.Ju., Fradkov A.L. Upravlenie nelinejnymi kolebanijami mehanicheskikh sistem metodom skorostnogo gradienta. Avtomatika i Telemehanika. M: Nauka, 1996.
- [6] Sablina G.V. Razrabotka i issledovanie metodiki stabilizacii ob#ekta upravlenija «karetko-majatnik»: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Novosibirsk. 2000.
- [7] Sablina G.V., Sazhin A.I. Issledovanie real'nogo skol'zjashhego rezhima v model'noj sisteme «perevernutyj majatnik». Avtomatika i programmaja inzherenija. 2015, №1(11), s. 9–15
- [8] Hemani H., Golliday C. The inverted pendulum and biped stability. Math. Biosci, 34, 1977, p. 95-110.
- [9] Kieffer J., Bale R. Walking viability and gain synthesis for novel class dynamically-simple biped walking machines. Informatica, 17, 1993, p. 145-155.
- [10] Kvakernaak X., Sivan R. Linejnye optimal'nye sistemy upravlenija. M: Mir, 1977. 653 s.
- [11] Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A. Spravochnik po matema-tike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov.- 13-e izd., ispravlennoe. - M.: Nauka, 1986.
- [12] Vostrikov A.S., Francuzova G.A., Gavrilov E.B. Teorija avtomaticheskogo regulirovanija: Ucheb. posobie. Novosibirsk, Izd-vo NGTU, 2008. 476 s.

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

### **Содержание раздела:**

- ❖ В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут, Л.В. Димитров. Структуры и методы цифрового управления колебательными объектами. (Новосибирск, Россия; София, Болгария). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 46–57.
- ❖ В.А. Жмудь, Л.В. Димитров. Вычисление желаемых коэффициентов характеристического уравнения замкнутой системы автоматического управления. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 58–66.

# Структуры и методы цифрового управления колебательными объектами

Вадим А. Жмудь, Владимир М. Семибаламут, Любомир В. Димитров  
Институт лазерной физики СО РАН, Россия; Сибирское отделение геофизической службы СО РАН, Россия; НГТУ, Россия; Технический университет Софии, Болгария

**Аннотация:** Актуальность задачи управления объектами, склонными к колебаниям, несомненна. И все же она до сих пор успешно не решена, если не считать отдельных примеров. В частности, представляет большой интерес задача управления объектом, в числителе или в знаменателе передаточной функции которого имеется отрицательный коэффициент. Эта задача тем более усложняется, если отрицательный коэффициент имеется и в числителе, и в знаменателе. Эта задача может решаться различными методами, среди которых целесообразно отметить использование обводного канала, использование компенсатора, применение переключающегося регулятора, применение дополнительного внешнего контура регулирования, применение фильтра на входе задания. В статье разбираются эти методы, демонстрируются их достоинства и недостатки путем моделирования. Показано, что выбор метода интегрирования при моделировании интеграторов и дифференцирующих устройств может существенно повлиять на результат моделирования и оптимизации. Это необходимо учитывать при выборе алгоритма работы цифрового регулятора, поскольку без выбора метода интегрирования алгоритм управления не полон и действовать не может. Если же расчет регулятора осуществлен без учета выбора этого метода, то результаты его использования не совпадут, по меньшей мере, вследствие этого несовпадения методов вычисления интегралов и производных используемых сигналов. Показано, что не представляется возможным выбрать наилучший метод интегрирования, поскольку из двух наиболее подходящих методов, а именно, простого метода Эйлера и адаптивного метода Булири-Стоера, каждый имеет как достоинства, так и недостатки, которые также обсуждаются в статье.

**Ключевые слова:** управление, замкнутые контуры, регуляторы, проектирование управляющих систем, цифровое управление, обратная связь, оптимизация

## ВВЕДЕНИЕ

Управление колебательным объектом крайне актуально.

**Первую проблему**, и наиболее существенную, представляет обратное перерегулирование, то есть движение выходного сигнала на каком-то участке переходного процесса в сторону, обратную предписанному значению, причем с удалением от требуемой величины на величину, больше, чем стартовое значение. Эта ситуация показана на Рис. 1. Принять систему с обратным перерегулированием в эксплуатацию можно лишь в исключительных случаях, когда другого пути

управления объектом не найдено. Действительно, например, требуется охладить объект. Трудно убедить заказчика (потенциального пользователя системы) в том, что ситуация, когда на каком-то начальном участке вместо охлаждения осуществляется нагревание этого объекта. В некоторых случаях такая работа системы может попросту загубить объект (как, например, в случае использования полупроводникового лазера или какого-либо сложного оптического кристаллического элемента). Видится логичным, что обратное перерегулирование даже на небольшую величину недопустимо.

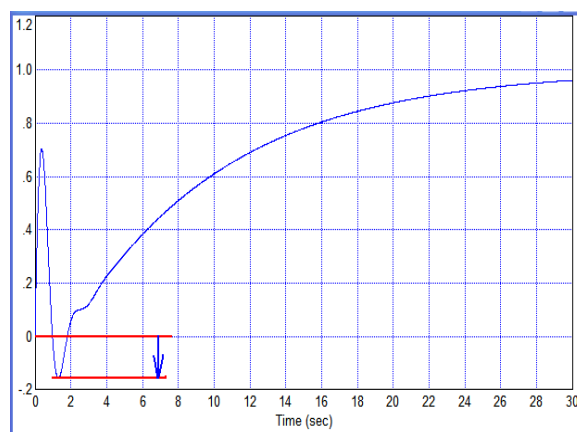


Рис. 1. Обратное перерегулирование (здесь около 17 %)

**Второй проблемой** является большое прямое перерегулирование. Эта величина соответствует выбросу переходного процесса за предписанное значение, как показано на Рис. 2.

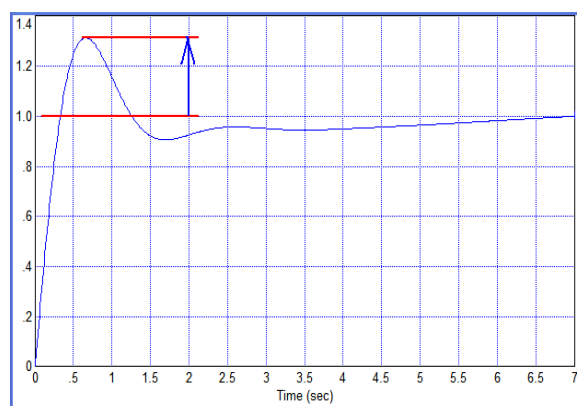
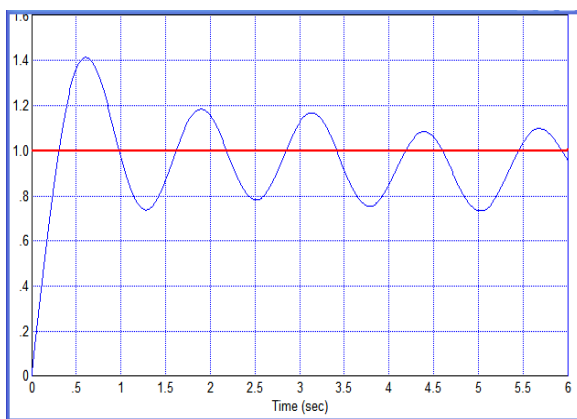


Рис. 2. Прямое перерегулирование (здесь около 30 %)

Небольшое перерегулирование не всегда является проблемой. Перерегулирование менее 5 % допускается в большинстве случаев, иногда в литературе встречаются примеры, когда допустимым считается даже перерегулирование 30 %, но эти примеры редки. Имеются также примеры, когда даже небольшая величина перерегулирования недопустима.

**Третьей проблемой** является большое количество колебаний в переходном процессе. Если даже амплитуда колебаний затухает, но это затухание недостаточно быстро, например, выходной сигнал осуществляет более трех существенных колебаний около предписанного состояния, как показано на *Рис. 3*, то систему едва ли можно охарактеризовать как удовлетворительную.

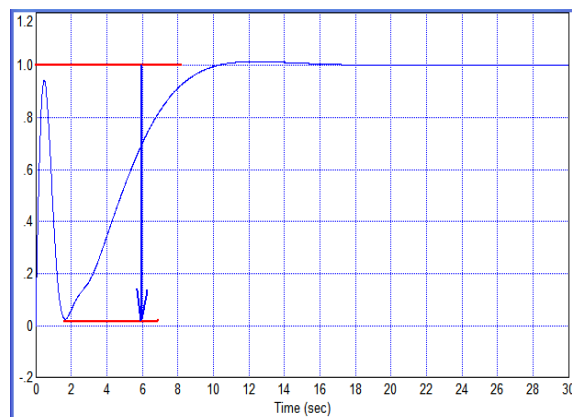


*Рис. 3.* Колебания около предписанного состояния (здесь более пяти 30 %)

**Четвертой проблемой** является значительный обратный ход, как показано на *Рис. 4*. Если в переходном процессе нет обратного перерегулирования, прямого перерегулирования и колебаний, то процесс может быть сочтен удовлетворительным. Но если при этом имеется обратный ход, как показано на *Рис. 4*, в ряде случаев это может быть оценено как признак неудовлетворительного переходного процесса, хотя, формально, по первым трем показателям, система чуть ли не идеальна. Вопрос о допустимости обратного хода следует решать исходя из технических требований к системе: в некоторых случаях он может оказаться вполне допустимым, а в других случаях категорически недопустимым. Проблема обратного хода редко обсуждается в литературе, поэтому в данной статье ей уделяется особое внимание.

**Вне этого списка** стоит такая проблема как отсутствие устойчивости. Если выходной сигнал объекта с течением времени не стремится к предписанному состоянию, а напротив, удаляется от него, такая система неприемлема, и говорить о её качестве не приходится. Управление объектом предполагает отыскание такого регулятора, при

котором переходные процессы в системе будут устойчивыми и при этом будут свободными от всех перечисленных выше четырех проблем, или, по меньшей мере, от первых трех проблем.



*Рис. 4.* Обратный ход переходного процесса (здесь почти 100 %)

Также отметим скрытую проблему: отсутствие робастности системы. Неробастной (негрубой) системой называют такую систему, в которой устойчивость достигается только при условии абсолютно точной реализации, по меньшей мере, одного параметра регулятора. Ясно, что абсолютная точность никогда не достижима, поэтому система, не обладающая робастными свойствами, не может использоваться.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объект управления имеет вход и выход, а значит, на его вход может быть подан входной сигнал  $U(t)$ , а с выхода снят выходной сигнал  $Y(t)$ . Математическая модель описывает зависимость между этими двумя величинами.

Например, модель объекта может быть задана передаточной функцией в форме рациональной дроби в области преобразований Лапласа [1]:

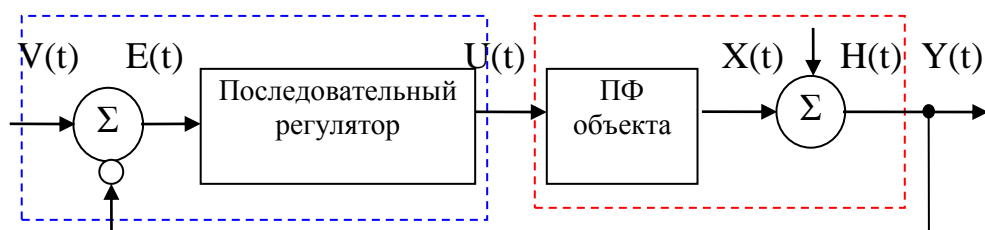
$$W_1(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_ms^m}{a_0 + a_1s + \dots + a_ns^n}. \quad (1)$$

Здесь  $m$  и  $n$  – порядок числителя и знаменателя,  $s$  – аргумент преобразования Лапласа. Все сигналы, описываемые как функция времени, обозначаются как функция от аргумента  $t$ , а соответствующие им преобразования Лапласа обозначаются как функции от  $s$ , что соответствует представлению сигнала в частотной области.

Выходной сигнал объекта  $Y(t)$  зависит не только от входного сигнала, но также содержит в качестве добавки результат действия внешнего неизвестного возмущения. Наиболее просто это описать путем добавления к выходному сигналу  $X(t)$  результата действия возмущения в виде добавочного сигнала  $H(t)$ , который также можно называть возмущением. Поскольку успешное подавление возмущения может быть

осуществлено только в системе с обратной связью, в системе должен быть регулятор.

Наиболее распространенная структура такой системы показана на *Рис. 5*.



*Рис. 5*, Традиционная структура управляющей системы с обратной связью (ПФ – передаточная функция)

На *Рис. 1* применены типовые обозначения сигналов:  $X(t)$  – выходной сигнал объекта без учета возмущения  $H(t)$ ,  $V(t)$  – вектор состояния,  $Y(t)$  – выходной сигнал объекта,  $E(t)$  – ошибка управления,  $U(t)$  – управляющий сигнал. В этой системе имеется последовательный регулятор, а также вычитающее устройство, которое осуществляет вычитание фактической выходной величины объекта  $Y(t)$  из ее предписанного значения  $V(t)$ .

Требуется, чтобы выходной сигнал был равен предписанной величине  $V(t)$ .

Управляемая часть выходного сигнала объекта равна произведению его входного сигнала на передаточную функцию и обозначается  $X(t)$ . Регулятор вычисляет управляющий сигнал  $U(t)$  на основании разности между предписанием  $V(t)$  и выходным сигналом объекта  $Y(t)$ . Эта разница называется ошибкой управления, обозначается  $E(t)$ . То есть регулятор должен свести ошибку к нулю.

Регулятор преобразует сигнал ошибки в сигнал управления. Если система устойчива, а коэффициент в контуре достаточно велик, то задача управления автоматически решается с помощью такого способа. Если же система неустойчива, то требуется рассчитать регулятор, который эту устойчивость обеспечит.

Задача состоит в отыскании математической модели регулятора. Трудность решения этой задачи зависит от сложности математической модели объекта. Если объект имеет колебательные свойства, задача управления им достаточно сложна.

Наиболее часто используется модель регулятора, содержащего пропорциональный, интегрирующий и дифференцирующий каналы. Это регулятор называется ПИД. В общем виде его уравнение имеет следующий вид:

$$W_R(s) = \left[ K_P + \frac{K_I}{s} + sK_D \right]. \quad (2)$$

Здесь  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  – это коэффициенты усиления, которые следует определить. Для отыскания этих коэффициентов можно использовать метод численной оптимизации, например, путем отыскания таких значений этих коэффициентов,

которые сообщают минимальное значение некоторой целевой функции [1–14]. Примером такой целевой функции может служить функция следующего вида:

$$F(T) = \int_0^T |e(t)| \cdot t \, dt. \quad (3)$$

Здесь  $T$  – время моделирования переходного процесса.

## 2. ВЫБОР МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Например, существенной проблемой является модель объекта со следующей передаточной функцией:

$$W_1(s) = \frac{4s^2 - s + 1}{s^4 + 32s^3 + 14s^2 - 4s + 50}. \quad (4)$$

В наших модельных исследованиях выяснилось, что основная проблема с этим объектом порождается отрицательным коэффициентом в числителе. Коэффициенты в знаменателе могут быть все положительные, или они могут несколько отличаться, но отрицательный коэффициент при члене второй степени в числителе порождает наиболее сильно склонность в объекте к колебаниям.

Даже получение устойчивого процесса с таким объектом является трудной задачей. Если же ее удастся решить, то в переходном процессе появляются все четыре проблемных свойства: обратное и прямое перерегулирование, значительный обратный ход и большое количество колебаний.

Приоритетной задачей управления объектом вида (4) является обеспечение устойчивости и устранение обратного перерегулирования. Следующей по важности задачей является снижение амплитуды колебаний около равновесного состояния.

Задача обеспечения устойчивости и устранения обратного перерегулирования может решаться несколькими методами, рассматриваемыми ниже.



### 3. МЕТОД ОБВОДНОГО КАНАЛА

Первый метод состоит в применении обводного канала. Типовая структурная схема такой системы показана на Рис. 6.

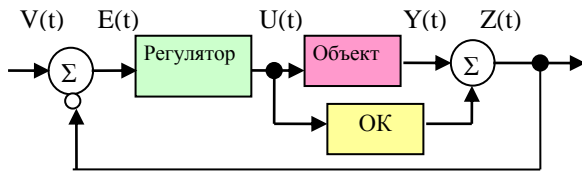


Рис. 6. Структура объекта с обратной связью и с обводным каналом (ОК)

Обводной канал [2] имеет передаточную функцию, которая в низкочастотной области близка к нулю, и поэтому не оказывает влияния на статическую точность системы. В высокочастотной области эта передаточная функция такова, что дополняет передаточную функцию объекта до составной модели, управление которой может быть осуществлено более успешно и эффективно.

Поскольку отрицательный знак члена в числителе является проблемой, то передаточная функция, в которой бы этот член принимал положительное значение, является более предпочтительной. То есть желаемая передаточная функция имеет вид:

$$W_2(s) = \frac{4s^2 + s + 1}{s^4 + 32s^3 + 14s^2 - 4s + 50}. \quad (5)$$

На этом основании путем вычитания из требуемой передаточной функции исходной функции (4) можно получить передаточную функцию обводного канала, которая равна:

$$W_3(s) = \frac{2s + 1}{s^4 + 32s^3 + 14s^2 - 4s + 50}. \quad (6)$$

Недостаток этого метода состоит в недостаточном качестве переходного процесса, что выражается в относительно большом переуправлении, большой амплитуде первых колебаний.

### 4. КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД

Второй метод решения рассмотренной задачи состоит в использовании компенсационного звена на входе объекта. Структурная схема такой системы показана на Рис. 7.

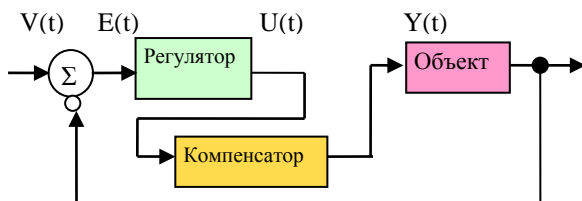


Рис. 7. Структура системы с обратной связью и с компенсатором

Недостаток этого метода состоит в отсутствии робастности, что будет показано далее.

### 5. МЕТОД ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХСЯ РЕГУЛЯТОРОВ

Третий метод решения рассмотренной задачи состоит в использовании двух регуляторов, один из которых включается на время начала переходного процесса, а другой – на время его окончания. Типовая структурная схема такой системы показана на Рис. 8.

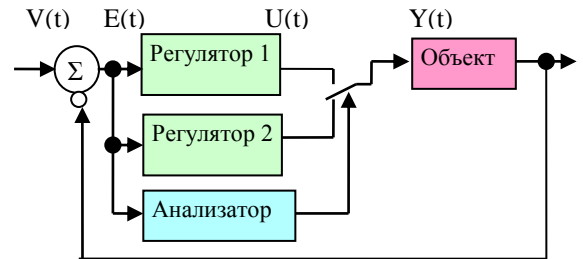


Рис. 8. Структура системы с обратной связью и с переключающимся регулятором

Недостаток этого метода состоит в дополнительном переходном процессе в момент переключения регуляторов. Переключение регуляторов может быть осуществлено плавно, что несколько снижает величину этого переходного процесса. Другой недостаток этого метода состоит в том, что он относительно эффективен лишь при отработке скачка предписания  $V(t)$ , тогда как основная и самая важная задача системы управления состоит в отработке возмущения  $H(t)$ .

### 6. МЕТОД ВНЕШНЕГО КОНТУРА

Четвертый метод состоит в организации внешнего контура управления, как показано на Рис. 9. Можно показать, что этот способ эквивалентен включению фильтра между входом системы и выходом формирователя предписанного значения, как показано на Рис. 10.

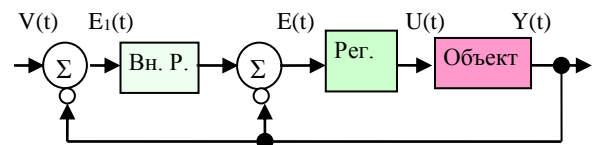


Рис. 9. Структура системы с обратной связью с внешним управляющим контуром

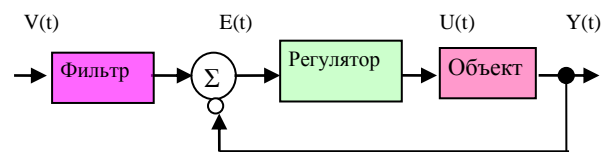


Рис. 10. Структура системы с обратной связью с пред-фильтром

Недостаток этого метода также состоит в том, что он эффективен лишь при обработке скачка предписания, тогда как наиболее важно качественно обработать возмущение.

### 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Пятый метод может состоять в использовании сигналов из раскрытой модели объекта для управления по вектору состояния объекта. Модель в виде передаточной функции дает при моделировании только один выходной сигнал  $X(t)$ . Полное состояние объекта не доступно для измерения. Раскрытая модель объекта может предоставить выход полного вектора состояния, то есть всех производных выходного сигнала. Если удастся осуществить стабилизацию всех этих производных, то задача управления объектом будет решена. С этой целью следует для каждой производной сформировать идеальную модель ее изменения, сравнить ее фактическое значение с значением на выходе идеальной модели, и разницу использовать для управления объектом. Эта задача крайне сложна, и ее решение можно осуществлять поэтапно. В данной статье исследуется возможность получения промежуточных сигналов путем создания раскрытой модели объекта. Моделирование позволило установить, что эта возможность зависит от метода интегрирования при вычислении интегралов в раскрытой модели.

### 8. О РАСКРЫТОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

С учетом того, что передаточная функция (4) равна отношению выходного сигнала  $X(s)$  к сигналу управления  $U(s)$ , можно подставить это отношение в соотношение (4), откуда можно выразить  $s^4 X(s)$  как функцию  $U(s)$  и членов с  $X(s)$ , содержащих  $s$  в меньших степенях. Деление этого соотношения на  $s^4$  дает уравнение вида:

$$X = \frac{1}{s} \left\{ -2X + \frac{1}{s} \left[ -32X + U + \frac{1}{s} (-14X + 4U + \frac{1}{s} (4X - U + \frac{1}{s} (-50X + U))) \right] \right\}. \quad (7)$$

По этому соотношению можно моделировать уравнение объекта. При построении структурной схемы предварительно сигнал  $X(s)$  используется как входной сигнал системы наряду с известным сигналом  $U(s)$ . Строится структура для моделирования суммы во внутренних скобках, результат интегрируется. Полученный результат используется для вычисления внешней суммы, результат также интегрируется и используется для вычисления суммы в последующих внешних скобках, и так далее. Результат вычисления суммы в фигурных скобках также интегрируется, в итоге получается сигнал  $X(s)$ , который заводится на вход раскрытой модели. Соответствующая структурная схема для моделирования раскрытой модели показана на Рис. 11.

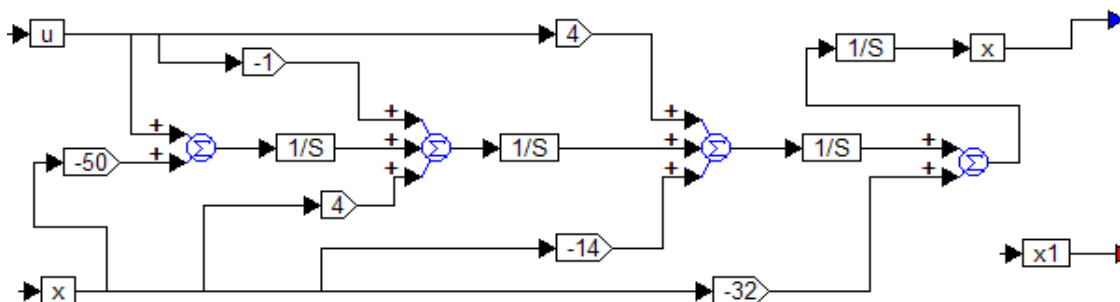


Рис. 11. Структура для моделирования объекта (4) методом многократного интегрирования

Проблема, препятствующая дальнейшему исследованию возможности этого метода, состоит в том, что выходные сигналы такой модели не совпадают с выходными сигналами модели, получаемой путем задания передаточной функции в виде рациональной дроби. Исследования показали, что причина этого состоит в выборе метода интегрирования при математическом моделировании.

### 9. О ВЫБОРЕ МЕТОДА ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Исследования, направленные на реализацию раскрытой модели, выявило преимущество метода интегрирования Булириш-Стоера в сравнении с остальными для численной

оптимизации и моделирования замкнутых динамических систем. Этот результат не совпадает с ранее опубликованными результатами для задачи моделирования и оптимизации систем автоматического управления в программе VisSim. Так в книге [1] сказано, что наиболее адекватным методом интегрирования является простой метод Эйлера. Это утверждение имело свое обоснование. Для этого было осуществлено многократное дифференцирование с последующим многократным интегрированием сигнала, а также многократное интегрирование с последующим многократным дифференцированием. Только при использовании простого метода Эйлера  $n$ -кратное дифференцирование

(интегрирование) с последующим  $n$ -кратным интегрированием (дифференцированием) давало исходный результат. При использовании метода Булири-Стоера указанное требование выполнялось не во всех случаях. Однако, только этот метод дал полное совпадение сигналов на выходе раскрытой модели с сигналами на выходе модели в виде передаточной функции.

Структурная схема для моделирования системы с объектом (4) показана на Рис. 12. В этом случае использован метод с обводным каналом для получения устойчивого переходного процесса без обратного перерегулирования. Получаемые процессы показаны на Рис. 13.

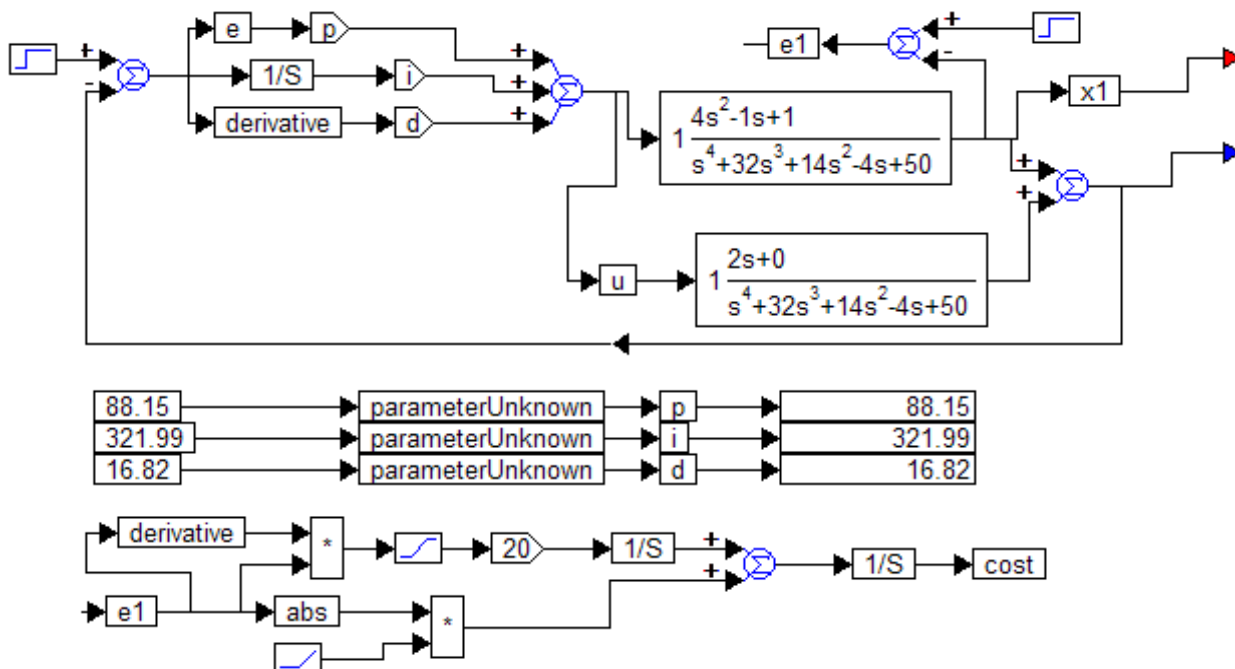


Рис. 12. Структура для моделирования и оптимизации системы с обводным каналом для управления объектом (4), а также результаты оптимизации

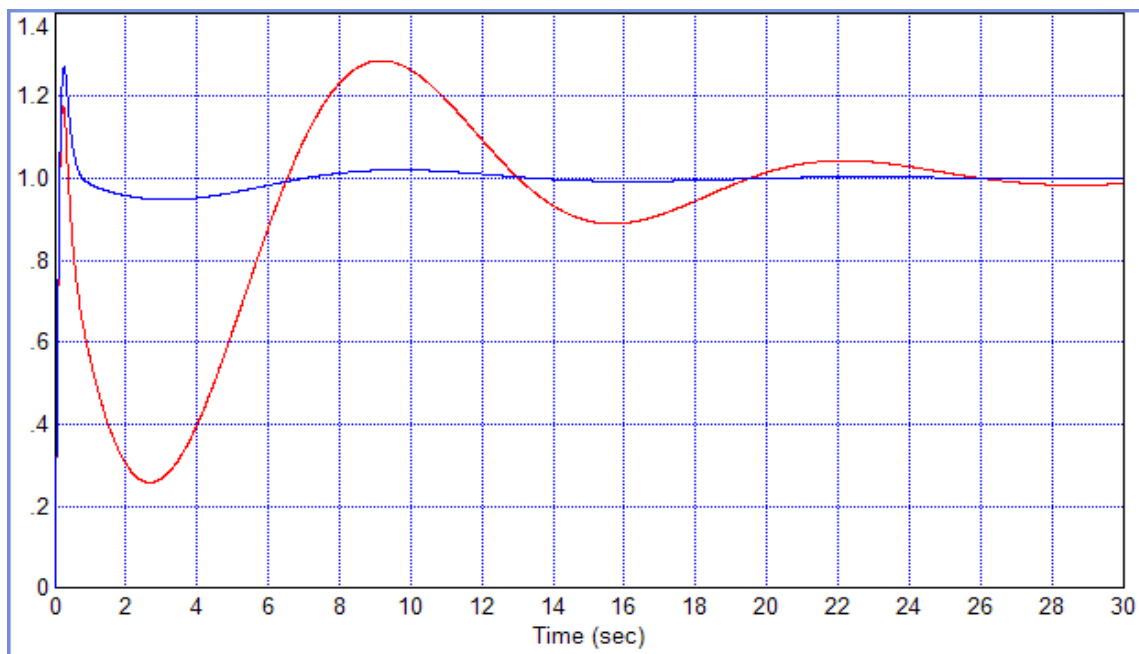


Рис. 13. Переходные процессы, получаемые в структуре по Рис. 12: красная линия – выход объекта, синяя линия – выход суммы сигнала объекта и обводного канала

Из этих графиков видны достоинства и недостатки метода с обводным каналом. Совместно с объектом обводной канал образует

составной объект, управление которым осуществляется успешно. Соответствующий выходной сигнал показан синей линией на

Рис. 13. Но наиболее важен вид выходного сигнала только объекта, без компоненты, вкладываемой обводным каналом. Этот график показан красной линией на Рис. 13. Видно, что, хотя обратное перерегулирование отсутствует, то есть этот сигнал не пересекает нулевой уровень, все же в системе имеются колебания относительно равновесного состояния. Первое и наибольшее отклонение в отрицательном направлении составляет более 70 % (обратный ход), наибольшее отклонение в положительном направлении, по счету второе, составляет менее 30 % (перерегулирование). Такой результат можно считать удовлетворительным, если эти показатели не противоречат техническим требованиям на систему, но он далек от идеального вида. В идеальном процессе

указанные отклонения, как правило, не должны превышать 10 %, если технические требования не требуют еще меньшей величины.

Для использования управления по вектору состояния требуется получение этого вектора состояний, то есть требуется реализация модели по структурной схеме, показанной на Рис. 11. Результат реализации показан на Рис. 10. Красной линией показан переходный процесс на выходе модели объекта в виде рациональной дроби, согласно Рис. 12, синей линией показан процесс на выходе раскрытой модели объекта в соответствии с Рис. 11. Видно, что эти графики лишь приблизительно совпадают на начальном этапе, а затем резко отличаются. При этом использовался простой метод Эйлера для интегрирования сигналов.

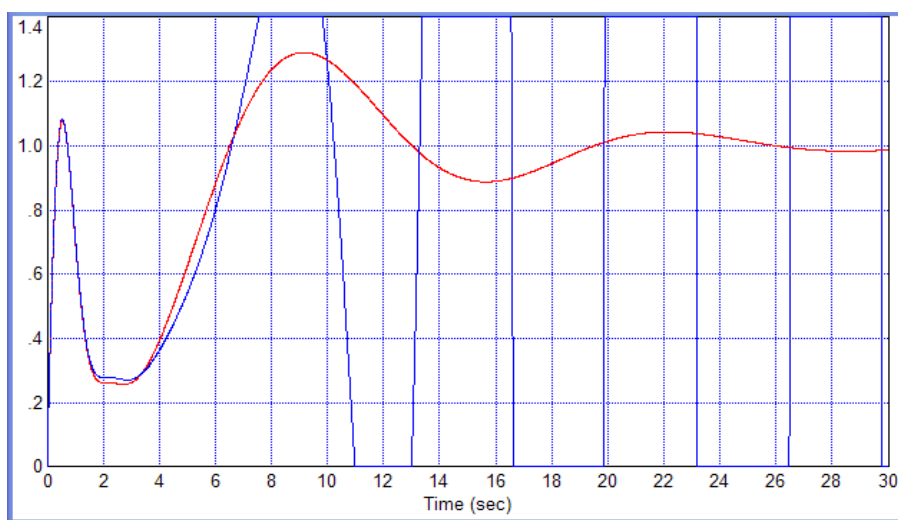


Рис. 14. Переходный процесс на выходе модели по рис. 11 (синяя линия) и процесс в объекте по рис. 12 (красная линия): процессы совпадают только при выборе метода интегрирования “Adaptive Bulirsh-Stoer”

Метод интегрирования выбирается на вкладке «симуляция», как показано на Рис. 15.

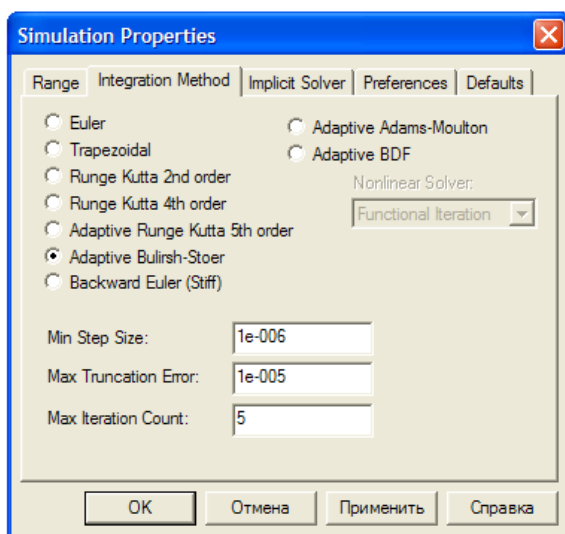


Рис. 15. Диалоговое окно для выбора метода интегрирования

Выяснилось в ходе моделирования, что несовпадения результата моделирования по структуре Рис. 11 с результатом по структуре Рис. 12 имеют место при всех видах интегрирования, кроме адаптивного метода Булирши-Стоера. При использовании этого метода достигается полное соответствие сигналов на выходе обоих видов модели, по Рис. 11 и по Рис. 12. Таким образом, при моделировании по методу Булирши-Стоера обеспечивается полная адекватность двух видов моделей. Это позволяет получить все промежуточные сигналы в модели объекта для использования их в системе управления по вектору состояний.

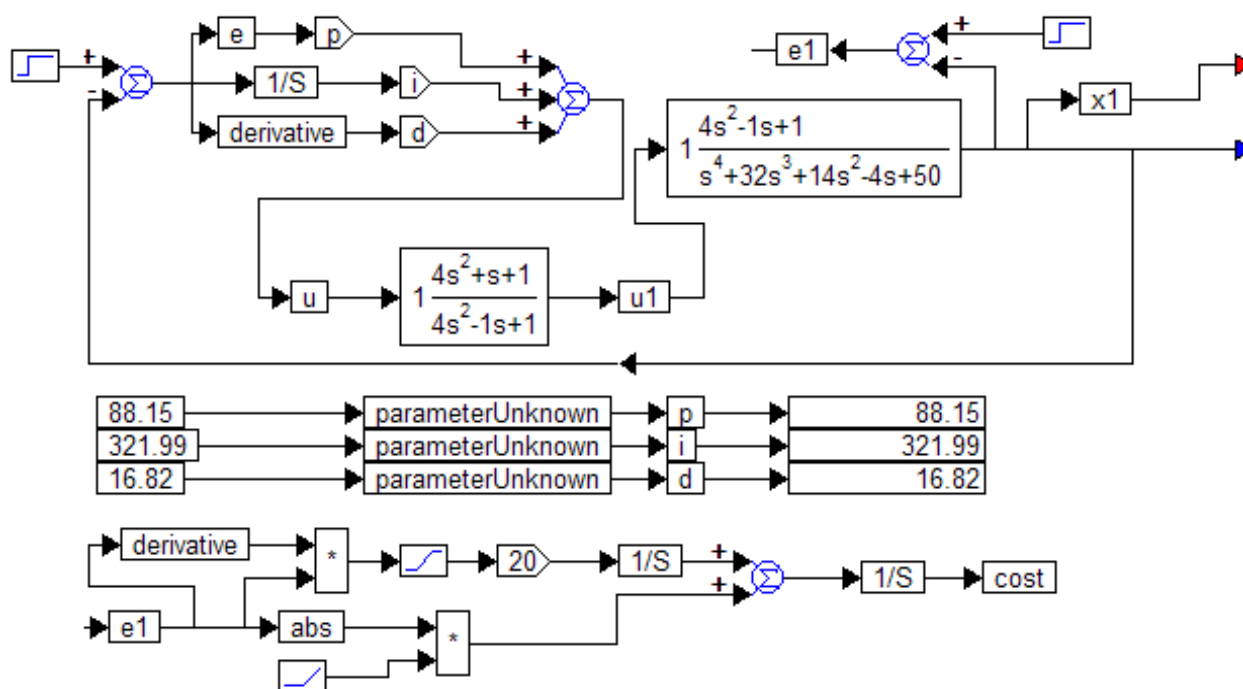
Отметим, что важность получения полной адекватности двух моделей при цифровом вычислении интегралов и производных определяется тем, что подавляющее большинство современных управляющих систем используют цифровые регуляторы. В цифровых регуляторах все сигналы вычисляются цифровым путем, поэтому выбор метода интегрирования определяет алгоритм, по которому будут

вычисляться интегралы и производные от используемых сигналов в цифровом регуляторе после его программно-аппаратной реализации. Таким образом, использование программы *VisSim* для моделирования системы вместо, например, использования программы *MATLAB*, предпочтительно, поскольку позволяет окончательно отладить алгоритм работы регулятора. В программе *MATLAB* вычисление производных и интегралов осуществляется более строго и более точно, но такое вычисление не может быть реализовано для обработки реальных сигналов, поступающих на регулятор в форме последовательности цифровых отсчетов, следующих один за другим. Поэтому результаты, получаемые в программе *VisSim* более надежны, чем результаты, получаемые в программе *MATLAB*.

## 10. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ПРИ ИНТЕГРИРОВАНИИ ПО АЛГОРИТМУ БУЛИРШ-СТОЕРА

Из предыдущего раздела видно, что выбор метода интегрирования по алгоритму *Булирш-Стоера* дает новые возможности, поскольку сигналы на выходе раскрытой модели полностью совпадают с сигналами на выходе закрытой модели. Это позволяет предположить, что компенсационный метод может оказаться более результативным при таком методе интегрирования.

На *Рис. 16* показана структурная схема для использования компенсационного метода.



*Рис. 16.* Структура для моделирования и оптимизации регулятора по методу с использованием компенсационного элемента

При этом настройки регулятора взяты такими, какие получены для системы с обводным каналом, а передаточная функция компенсирующего элемента взята такой, чтобы преобразовать модель объекта в модель составного объекта, включающего обводной канал. То есть в знаменателе этого элемента записан числитель модели объекта, а в его числителе – тот же полином, в котором отрицательный коэффициент изменен на положительный. Результат моделирования показан на *Рис. 17*. Полученная система устойчива, переходный процесс обладает хорошим качеством, которое совпадает с процессом на выходе составного объекта по методу управления с обводным каналом. Первое перерегулирование составляет 30 %, обратный

ход менее 8 %, переходный процесс быстро затухает, по истечении примерно 14 с он практически окончен. Моделирование процесса на достаточно большом интервале времени показало, что устойчивость не нарушается.

Указанный результат можно было бы считать хорошим, однако, как было сказано выше, системы с компенсационным элементом не являются робастными. Получаемый эффект компенсации успешно работает только при полном совпадении знаменателя компенсационного устройства с числителем объекта. Отклонение даже на одну сотую процента вызывает нарушение устойчивости системы, как показано на *Рис. 18*. Если бы процесс анализировался только на интервале до 50 с, можно было бы считать, что система

устойчива. Но по истечении этого времени наблюдается постепенная раскачка выходного сигнала около равновесного состояния, которая

приводит к полной потере устойчивости.

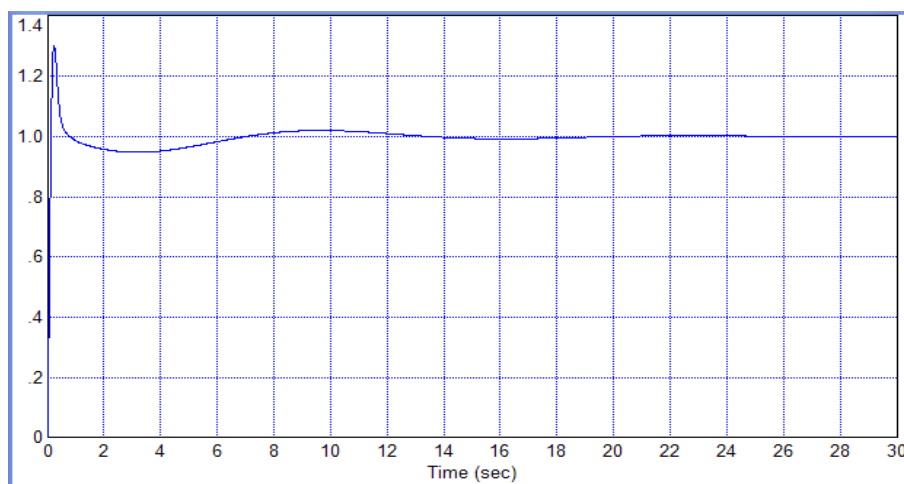


Рис. 17. Переходный процесс, получаемый в структуре по Рис. 16

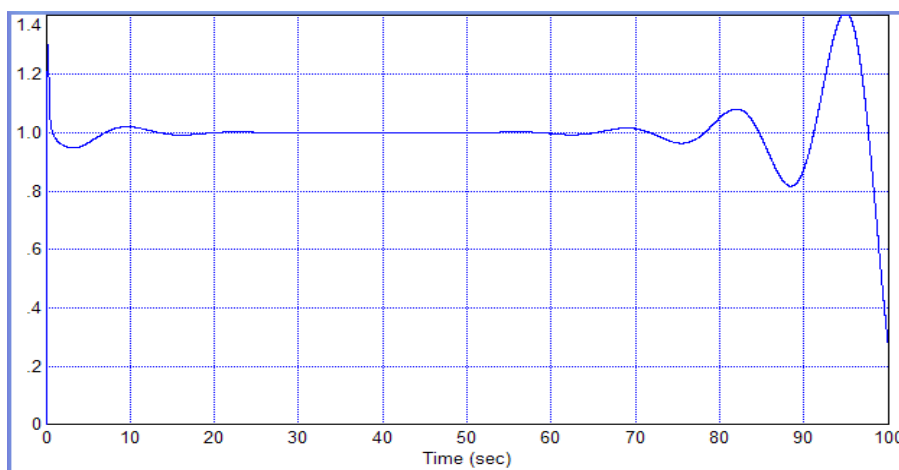


Рис. 18. Переходный процесс, получаемый в структуре по Рис. 16 при нарушении точности одного из коэффициентов знаменателя компенсационного элемента на величину +0,0001

К сожалению, отсутствие робастных свойств для данной структуры фатально. Нельзя указать нижнюю границу погрешности, при которой система оставалась бы устойчивой, такой границы нет. Система неустойчива и при меньшей погрешности реализации компенсационного устройства, хотя это проявляется не столь быстро, а с большей по величине задержкой по времени. Поскольку абсолютного соответствия на практике обеспечить нельзя, такая система не может быть сделана устойчивой ни при каких обстоятельствах. При этом неточность реализации коэффициентов регулятора или числителя компенсационного устройства не нарушает устойчивость, поэтому робастные свойства не выполняются только в отношении знаменателя компенсационного устройства. Но это не снимает проблему.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье дана классификация методов управления колебательными объектами, для каждого из четырех методов указаны достоинства и недостатки. Предложено использовать метод пространства состояний, показано, что использованию этого метода препятствует несовпадение выходных сигналов закрытой и открытой моделей. Выявлены причины этого несовпадения, заключающиеся в отличиях результатов интегрирования при использовании разных методов интегрирования в программе численного моделирования *VisSim*. Исследование выявило, что выбор метода интегрирования по адаптивному алгоритму *Булири-Стоера* снимает эту проблему. Дальнейшее управление объектом не должно представлять проблемы, поскольку при доступном векторе состояния система становится полностью управляемой. Дополнительно исследована возможность применения

метода с использованием компенсационного звена при выборе указанного метода интегрирования. Показано, что, хотя в этом случае моделирование дает хороший результат, получаемая система не обладает робастными свойствами применительно к совпадению знаменателя передаточной функции компенсационного звена с числителем передаточной функции объекта. Отсутствие робастных свойств такой системы фатально, то есть такую систему применять нельзя. Однако, такая система может составить основу для применения метода с двумя переключающимися регуляторами, поскольку такой регулятор может быть успешно использован на начальном участке переходного процесса. В этом случае отсутствие робастности не фатально, поскольку небольшие отличия в указанных полиномах не вызывают существенных отличий в начальном участке переходного процесса, а конечный участок переходного процесса в такой системе не используется, так как в этом случае работает другой канал управления (второй регулятор).

На данном этапе развития теории и практики регулятор с обходным каналом позволяет получить наилучшие результаты, но регулятор с управлением по вектору состояний представляется наиболее перспективным, что требует дальнейших исследований в этой области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности», проект № 471.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.А. Жмудь. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск. Издательство НГТУ. 2012. – 335 р. ISBN 978-5-7782-2162-8
- [2] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, R.Yu. Ishimtsev, V.M. Semibalamut. “The modeling tests of the new PID-regulators structures”. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P. 165–168.
- [3] V.A. Zhmud, O. D. Yadrishnikov, A.V. Poloshchuk, A.N.Zavorin. “Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators”. 2012. Proceedings of 7-th International Forum on Strategic Technology, IFOST-2012.
- [4] V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy, E.V. Prokhorenko. “The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6”. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. P. 27–32.
- [5] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov. “Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function”. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [6] V.A. Zhmud, AV.. Polishchuk, A.A. Voevoda, R.V. Rao. “The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment”. Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [7] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. “The method of designing energy-saving controllers for complex objects with partially unknown model”. In the book: Issues of control and modeling in complex systems. Proceedings of the XVI International Conference June 30 - July 3, 2014, Samara. Russia. P. 557-567.
- [8] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. “Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati”. Italian Science Review, 2014, № 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [9] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. “The providing of the power saving control of one output value with two controlling channels having different effectiveness and cost of the controlling resource”. Proceedings of 23-nd International Scientific and Technical Conference of Transport, Road-Buildong, Agricultural, Hosting & Hauling Military Technics and Technologies “Trans & MOTAUTO ‘15”. 24-27 June, 2015. Varna, Bulgaria. Vol.3. P. 118 – 122. ISSN: 1310-3946. Publisher: Scientific-technical union of mechanical engineering.
- [10] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. “The providing of the power saving control of one output value with two controlling channels having different effectiveness and cost of the controlling resource”. International Journal for Science, Technics and Innovations for Industry. 2015. Issue 9. ISSN 1313-0226. Sofia. Bulgaria. P. 50 – 54. Publisher: Scientific-technical union of mechanical engineering. URL: [www.mech-ing.com/journal](http://www.mech-ing.com/journal)
- [11] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov, O.D. Zavorin. “Calculation of regulators for the problems of mechatronics by means of numerical optimization method”. 2014. 12-th International Conference on Actual Propblems of Electronic Instruments Engineering (APEIE) 34006. Proceedings. Novosibirsk. 2014. Vol.1. P. 739 – 744.
- [12] V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut, A.S. Vostrikov. “Feedback Systems with Pseudo Local Loops”. Testing and Measurement: Techniques and Applications: Proceedings of the TMTA-2015. 16-17 January 2015, Phuket Island, Thailand. Taylor & Francis Group. London. ISBN: 978-1-138-02812-1-8. P. 411 – 416. Typeset by diactriTech, Chennai, India, Published: CRC Press / Balkema. P.O. Box 11320, 2301 EH Leiden, The Netherland. [www.crcpress.com](http://www.crcpress.com), Printed and bond in the UK and US, ISBN 987-1-138-02812-8, 978-1-315-68493-2.
- [13] В.А. Жмудь, Л.В. Димитров. Адаптивные системы на основе конкурентных критериев оптимума. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 4 (14). С. 19–25.
- [14] В.А. Жмудь. Управление объектом с линейно нарастающим запаздыванием. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 4 (14). С. 26–34.



**Вадим А. Жмудь**, заведующий кафедрой Автоматики в Новосибирском государственном техническом университете, автор более чем 300 научных работ, включая более 20 патентов, 12 учебных пособий.

E-mail: [zhmud@corp.nstu.ru](mailto:zhmud@corp.nstu.ru)



**Владимир М. Семибаламут** директор сибирского филиала Геофизической Службы СО РАН, кандидат физико-математических наук, автор более 100 научных статей и более 10 патентов. Область интересов включает автоматизацию научных экспериментов, лазерную физику, геофизику, программное обеспечение, оптимизацию, системы сбора и обработки данных.

E-mail: [vladim28@yandex.ru](mailto:vladim28@yandex.ru).



**Любомир В. Димитров**, декан машиностроительного факультета Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS).

E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)

## Structure and Methods of Control of Oscillating Objects

Vadim Zhmud, Vladimir Semibalamut, Lubomir Dimitrov

*Abstract:* The relevantness of the task of control of oscillatory object is beyond doubt. Yet it is still has not been solved successfully, except for individual examples. In particular, the task of control of the object, having in its transfer function numerator or denominator negative coefficients of the polynomial, is of great interest. This task is even more complicated if there is a negative coefficient both in the numerator and in the denominator. This task can be solved by various methods. It is worth of noting among them the use of the bypass channel, the use of the equalizer, the use of a switching regulator, the use of additional external control loop and the use of the filter on the reference input. The paper dealt with these methods. It demonstrates their advantages and disadvantages with mathematical modeling (simulation). It is shown that the choice of integration method for modeling of integrators and derivative devices can significantly affect to the result of simulation and optimization. This should be considered when choosing the algorithm of the digital controller, because without the choice of integrating method in the control algorithm it is not complete and it can not act. If the calculation would be done without taking into account the this choose, then the results of its use will not match, at least due to the mismatch of the methods for calculating of the integrals and derivatives of the used and signals. It is shown that it is not possible to choose the best method of integration for all problems, because the two most

appropriate methods, namely, a simple Euler method and adaptive method Bulirsh-Stoyer, each has both advantages and disadvantages, which are discussed in the paper.

*Key words:* Control, locked loops, regulators, design of controlling systems digital control, feedback, optimization

## REFERENCES

- [1] V.A. Zhmud. "Simulation, research and optimization of locked system of automatic control". Monograph. Novosibirsk. Publishing house of NSTU. 2012. – 335 p.
- [2] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, R.Yu. Ishimtsev, V.M. Semibalamut. "The modeling tests of the new PID-regulators structures". Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P. 165–168.
- [3] V.A. Zhmud, O. D. Yadrishnikov, A.V. Poloshchuk, A.N.Zavorin. "Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators". 2012. Proceedings of 7-th International Forum on Strategic Technology, IFOST-2012.
- [4] V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy, E.V. Prokhorenko. "The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6". 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. P. 27–32.
- [5] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov. "Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function". Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [6] V.A. Zhmud, AV.. Polishchuk, A.A. Voevoda, R.V. Rao. "The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment". Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [7] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. "The method of designing energy-saving controllers for complex objects with partially unknown model". In the book: Issues of control and modeling in complex systems. Proceedings of the XVI International Conference June 30 - July 3, 2014, Samara. Russia. P. 557-567.
- [8] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. "Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati". Italian Science Review, 2014, № 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [9] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. "The providing of the power saving control of one output value with two controlling channels having different effectiveness and cost of the controlling resource". Proceedings of 23-nd International Scientific and Technical Conference of Transport, Road-Buildong, Agricultural, Hosting & Hauling Military Technics and Technologies "Trans & MOTAUTO '15". 24-27 June, 2015. Varna, Bulgaria. Vol.3. P. 118 – 122. ISSN:1310 – 3946. Publisher: Scientific-technical union of mechanical engineering.
- [10] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. "The providing of the power saving control of one output value with two controlling channels having different effectiveness and cost of the controlling resource". International Journal for Science, Technics and Innovations for Industry. 2015. Issue 9. ISSN 1313 – 0226. Sofia. Bulgaria. P. 50 – 54. Publisher: Scientific-technical union of



- mechanical engineering. URL: [www.mech-ing.com/journal](http://www.mech-ing.com/journal)
- [11] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov, O.D. Zavorin. "Calculation of regulators for the problems of mechatronics by means of numerical optimization method". 2014. 12-th International Conference on Actual Problems of Electronic Instruments Engineering (APEIE) 34006. Proceedings. Novosibirsk. 2014. Vol.1. P. 739 – 744.
- [12] V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut, A.S. Vostrikov. "Feedback Systems with Pseudo Local Loops". Testing and Measurement: Techniques and Applications: Proceedings of the TMTA-2015. 16-17 January 2015, Phuket Island, Thailand. Taylor & Francis Group. London. ISBN: 978-1-138-02812-1-8. P. 411 – 416. Typeset by diactriTech, Chennai, India, Published: CRC Press / Balkema. P.O. Box 11320, 2301 EH Leiden, The Netherland. [www.crcpress.com](http://www.crcpress.com), Printed and bond in the UK and US, ISBN 987-1-138-02812-8, 978-1-315-68493-2.
- [13] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. "Adaptive feedback systems on the base of Concurrent Criteria of Optimum". Automatics & Software Engineering. 2015. № 4 (14). P. 19–25. ISSN 2312-4997.
- [14] V.A. Zhmud. "Control of Object with Linearly Increasing Delay". Automatics & Software Engineering. 2015. № 4 (14). P. 26–34. ISSN 2312-4997.

# Вычисление желаемых коэффициентов характеристического уравнения замкнутой системы автоматического управления

*В.А. Жмудь, Л.В. Димитров*

*ФГБОУ ВО «НГТУ», Новосибирск, Россия; Технический университет Софии, София, Болгария*

**Аннотация:** Вопрос выбора желаемого полинома при проектировании регуляторов крайне актуален. В литературе этому вопросу посвящено крайне мало публикаций, как правило эта задача решается на примитивном уровне, то есть выбирается полином, обладающий набором равных кратных отрицательных корней (бином Ньютона), или корни полинома задаются в некоторой области отрицательной полуплоскости (трапеция, сфера, прямоугольник). Этот выбор не только не обоснован, но и далек от оптимального. Статья решает задачу этого выбора на основе требований, предъявляемых к динамическим и статическим свойствам замкнутой системы автоматического управления. Впервые при решении этой задачи среди критериев её эффективности введено в рассмотрение обратное перерегулирование.

**Ключевые слова:** управление, регулирование, динамическая точность, статическая точность, характеристический полином системы, желаемый полином, желаемая динамика

## ВВЕДЕНИЕ

При проектировании систем автоматического управления к их поведению в замкнутом виде предъявляются определенные статические и динамические требования. К статическим требованиям относится допустимая величина остаточной статической ошибки. Динамические требования задаются чаще всего в форме допустимого перерегулирования, допустимой длительности переходного процесса и так далее. Но в некоторых случаях эти требования формируются в виде желаемого уравнения переходного процесса. Это желаемое уравнение формально описывается полиномом, который должен стоять в знаменателе эквивалентного фильтра низких частот, имеющего такой же переходный процесс. Поэтому также используется задание требований к динамическим свойствам замкнутой системы в форме желаемого полинома (знаменателя передаточной функции фильтра) или желаемого характеристического уравнения (то есть соотношения, в котором этот желаемый полином приравнивается к нулю). Кроме того, некоторые методики, например, метод локализации [1, 2] используют желаемый вид характеристического полинома, то есть без

задания этого желаемого вида такие методики попросту не могут использоваться.

При этом редки случаи, когда указанный желаемый характеристический полином задается в форме набора корней этого полинома. Чаще задается область, в которой эти корни должны располагаться. В некоторых случаях такой полином задается путем выбора его коэффициентов. В этом случае чаще всего используются коэффициенты бинома Ньютона, то есть фактически такой полином содержит все одинаковые вещественные отрицательные корни. Основания для такого выбора недостаточны, поскольку при таком выборе можно лишь достоверно указать, что система с таким характеристическим полиномом устойчива, но не более того. Очевидно, что система с таким полиномом обладает далеко не лучшим быстродействием. Более обоснованного выбора характеристического полинома почти не встречается в литературе, за исключением единичных публикаций, как, например, [3].

В работе [3] обоснован подход к решению этой задачи. Но результат решения этой задачи в указанной публикации может быть пересмотрен на основе новейших достижений в области моделирования замкнутых динамических систем, в том числе с помощью программы *VisSim*, которая использовалась в указанной публикации.

В настоящей статье критически обсуждаются ранее полученные результаты, предлагается обновленная и более эффективная методика для вычисления желаемых коэффициентов полинома, из которой можно увидеть, что задание полинома через коэффициенты бинома Ньютона или через область расположения корней существенно уступает предлагаемой методике.

Наибольшее практическое значение имеет решение этой задачи для полиномов от третьего до пятого порядка. Для полиномов первого порядка эта задача очевидна, поскольку выбора фактически нет, для полинома второго порядка задача сводится к выбору единственного коэффициента, что может быть сделано многими методиками с приблизительно одним и тем же результатом, но с ростом порядка эта задача существенно усложняется. Вместе с тем при слишком высоком порядке полинома эта задача утрачивает практическое значение, поскольку на практике всегда бывает достаточно ограничиться порядком не более четвертого (реже пятого).

Однако предлагаемая методика без каких-либо сложностей может быть распространена на достаточно большой порядок (пятый и выше).

## 1. ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА И ЕЁ ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ

Линейная замкнутая динамическая система автоматического регулирования описывается, как правило, моделью, приблизительно совпадающей с моделью фильтра низких частот (ФНЧ). Если система склонна к колебаниям, но устойчива, то эквивалентный фильтр в знаменателе содержит соответствующие полиномы с комплексно-сопряженными корнями, реальная часть которых отрицательна. Если все корни действительные и отрицательные, то система устойчива. Но если система устойчива, то она не обязательно должна содержать только действительные отрицательные корни, поскольку комплексно-сопряженные корни с отрицательной действительной частью также могут входить в набор корней её характеристического полинома.

Если система не только устойчива, но еще и астатическая, то статический коэффициент передачи указанного фильтра равен единице. Поскольку только такие системы, как правило, желательны, то в желаемом характеристическом полиноме следует в любом случае задать свободный член равным единице.

В общем виде передаточная функция фильтра низких частот порядка  $N$  можно описать соотношением:

$$W(s) = 1 / P_N(s). \quad (1)$$

Здесь  $s$  – аргумент преобразования Лапласа, а  $P_N(s)$  – полином вида [3]:

$$P_N(s) = 1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots s^N. \quad (2)$$

Здесь коэффициент при старшем члене полинома (2) мы положили равным единице для определенности, как и в работе [3], поскольку это можно всегда обеспечить соответствующим выбором масштаба времени и частот. Отклик системы с передаточной функцией вида (1) можно рассчитать моделированием, например, в программе *VisSim*, которая также позволяет строить соответствующие графики.

## 2. ЗАДАЧА ВЫБОРА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ПОЛИНОМА И ИЗВЕСТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Из соотношения (2) видно, что первый и последний коэффициенты полинома заданы единичными, то есть задача выбора этих коэффициентов не стоит. Следовательно, для полиномов нулевого и первого порядка обсуждаемая задача стоять не может. Для полинома второго порядка стоит задача выбора единственного коэффициента. В общем случае для полинома порядка  $N$  необходимо выбрать  $N - 1$  коэффициент среди множества положительных коэффициентов. Нулевые и отрицательные коэффициенты могут быть исключены из

рассмотрения заранее на основе связи корней полиномов с коэффициентами, а при автоматическом или автоматизированном вычислении коэффициентов нулевые или отрицательные коэффициенты просто не должны получаться в результате этой процедуры.

Наряду с нулевой статической ошибкой, что обеспечивается строгим равенством единице коэффициента при свободном члене полинома (2), к системе предъявляются следующие требования:

1. Недопустимо существенное обратное перерегулирование, то есть начальный ход процесса в неверном направлении.
2. Весьма нежелательно существенное перерегулирование, то есть выброс переходного процесса за предписанный установившийся уровень.
3. Нежелательны многократные колебания переходного процесса около установившегося уровня.
4. Нежелательна не монотонность переходного процесса, то есть резкие (и многократные) изменения его направления или скорости даже при сохранении в целом правильной тенденции его развития.

При таком обилии требований, которые могут быть даже дополнены, задача выбора коэффициентов полинома становится трудной, а результат неоднозначным.

В работе [3] применен следующий подход.

1. Моделируется фильтр низких частот на основании модели соответствующего порядка с указанными коэффициентами.
2. Вычисляется переходный процесс изменения во времени ошибки в системе управления  $e(t)$  как разница между единичным предписанным значением и откликом на выходе этого фильтра.
3. Вычисляется некоторая стоимостная функция, зависящая от ошибки, например, интеграл от квадрата ошибки, умноженного на время в некоторой целой степени  $M$ :

$$F_c(T, M) = \int_0^T e^2(t) t^M dt. \quad (3)$$

4. Поскольку имеется неопределенность, какую степень  $M$  выбрать, осуществляется решение указанной задачи для различных целых значений  $M$ , от 1 до 7 и при необходимости выше.
5. Анализируется результат путем простого сопоставления графиков переходных процессов (визуальный анализ). На этом основании делается вывод о наилучшем значении  $M$ . Тем самым делается выбор методики решения задачи отыскания коэффициентов полинома, что подтверждено моделированием для полиномов от третьего до пятого порядка.
6. Получены значения коэффициентов указанных полиномов. Рассчитаны и

построены графики соответствующих переходных процессов.

Результаты могут быть сведены в Табл. 1–4. В нижней строке даны коэффициенты, найдены без использования критерия, опытным (субъективным) путем.

Таблица 1. Результаты расчета коэффициентов для полиномов второго порядка

Значение $M$	$a_1$	Условное обозначение
2	1,34	A
4	1,53	B
6	1,66	C
Субъективный подбор коэффициентов	1,66	D

Таблица 2. Результаты расчета коэффициентов для полиномов третьего порядка

Значение $M$	$a_1$	$a_2$	Обознач-е
2	1,455	2,04	A
4	1,85	2,185	B
6	1,96	2,185	C
Субъектив.	2,3	2,1	D

Таблица 3. Результаты расчета коэффициентов для полиномов четвертого порядка

Значение $M$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	Обознач-е
2	2,4	3,1	1,7	A
4	2,3	3,1	1,73	B
6	2,3	3,1	1,85	C
Субъективный	2,6	3,4	1,95	D

Таблица 4. Результаты расчета коэффициентов для полиномов пятого порядка

Значение $M$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	Обознач-е
2	2,8	5	4,2	2,75	A
4	2,93	4,79	4,275	2,65	B
6	3,0	4,6	4,35	2,38	C
Субъект	3,4	5,3	5	2,8	D

### 3. КРИТИКА ИЗВЕСТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе [3] не уделено достаточного внимания обратному перерегулированию. Результаты моделирования отражены на графиках, при выборе фиксированных границ осей. При этом нижняя граница по оси ординат была взята нулевой.

Осуществим детальный анализ переходных процессов в указанных фильтрах, например, путем моделирования в программе VisSim. На Рис. 1 показаны переходные процессы в фильтрах с характеристическими полиномами из Таблицы 2. Различные графики маркированы буквами из последнего столбца этой таблицы. Видно, что графики, маркированные как A, B, C и D, характеризуются обратным перерегулированием около 15%. Для сравнения приведен график, маркированный буквой E, в котором обратное перерегулирование не превышает 5%. Исходя из этого, можно сделать вывод, что все выше рассмотренные результаты, применительно к Таблице 2, характеризуются достаточно большим перерегулированием. Эта величина приблизительно одинаковая, она не подлежит управлению. То есть эту величину нельзя снизить с критерием вида (3).

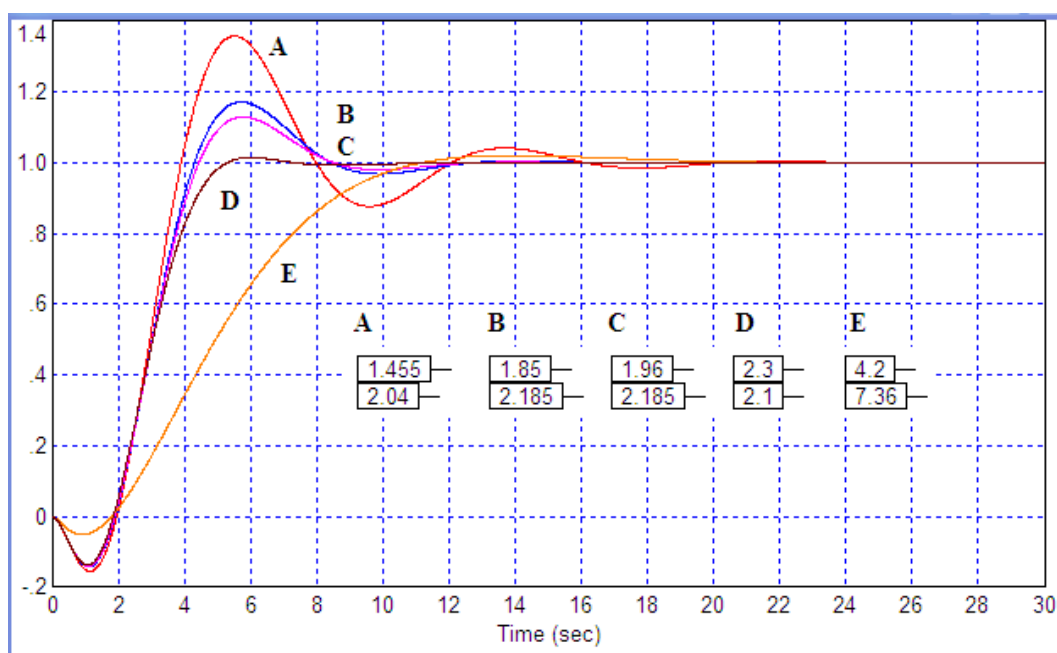


Рис. 1. Переходные процессы в фильтрах с различными характеристическими полиномами по Таблице 2.

На Рис. 2 показаны аналогичные процессы в системах с фильтрами, имеющими в знаменателе передаточной функции характеристические полиномы из Таблицы 3. Также графики с метками А, В, С и D, характеризуются обратным перерегулированием около 10 %. Для сравнения

график, маркированный буквой Е, почти не имеет обратного перерегулирования.

Из этого следует, что рассмотренные критерии оптимизации не удовлетворительны для решения поставленной задачи, а коэффициенты, представленные в Таблицах 1–4, нуждаются в уточнении.

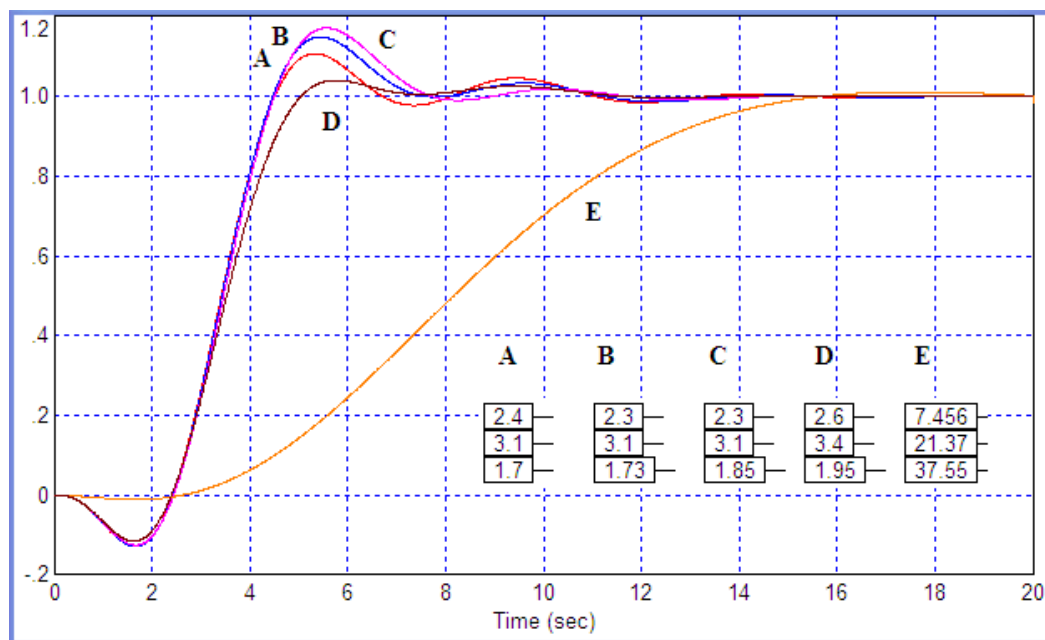


Рис. 2. Переходные процессы в фильтрах с различными характеристическими полиномами по Таблице 3.

#### 4. ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

С учетом развития методик оптимизации замкнутых систем, опубликованных в серии работ [4–6], можно рекомендовать три нижеследующие стоимостные функции (4) – (6), причем в соотношении (6) используемая функция определена соотношением (7):

$$F_{C1}(T) = \int_0^T |e(t)| dt, \quad (4)$$

$$F_{C2}(T) = \int_0^T |e(t)| t dt, \quad (5)$$

$$F_{C3}(T) = \int_0^T \{ |e(t)| t + f[k, e(t)] \} dt, \quad (6)$$

$$f[k, e(t)] = k \max\{ 0, e(t) \cdot de(t)/dt \}. \quad (7)$$

Предлагается моделировать системы методом открытой модели фильтра. Ранее этот метод не применялся с использованием программы VisSim, поскольку такое моделирование не давало полной адекватности переходного процесса в сравнении с использованием модели в виде передаточной функции. Однако, поскольку выяснено, что адекватность легко достигается при выборе в качестве метода интегрирования адаптивного

метода Булири-Стоера [4], использование открытой модели стало возможным.

##### 4.1. Полиномы четвертого порядка

На Рис. 3 показана структура для моделирования и оптимизации фильтра. В этой структуре использован критерий (6), (7). Небольшие модификации этой структуры позволяют преобразовать вычислитель этой целевой функции в вычислитель функции (5) или (4). Получаемый переходный процесс в такой системе показан на Рис. 4.

Из процесса, показанного на Рис. 4, видно, что может быть путем оптимизации при выборе критерия (6), (7) получен полином, которому соответствует процесс практически без обратного перерегулирования. Это требование отсутствия обратного перерегулирования учитывается в стоимостной функции путем включения под интеграл слагаемого, которое растет в том случае, если имеются участки, на которых ошибка и её производная совпадают по знаку, то есть ошибка растет по величине. Весомость этого слагаемого задается весовым коэффициентом. Если положить его равным нулю (то есть разомкнуть верхнюю цепь верхнего сумматора), то получим целевую функцию вида (5). Оптимизация коэффициентов полинома в этом случае дает их значения, которые показаны на Рис. 5, где также показан и соответствующий график переходных процессов.

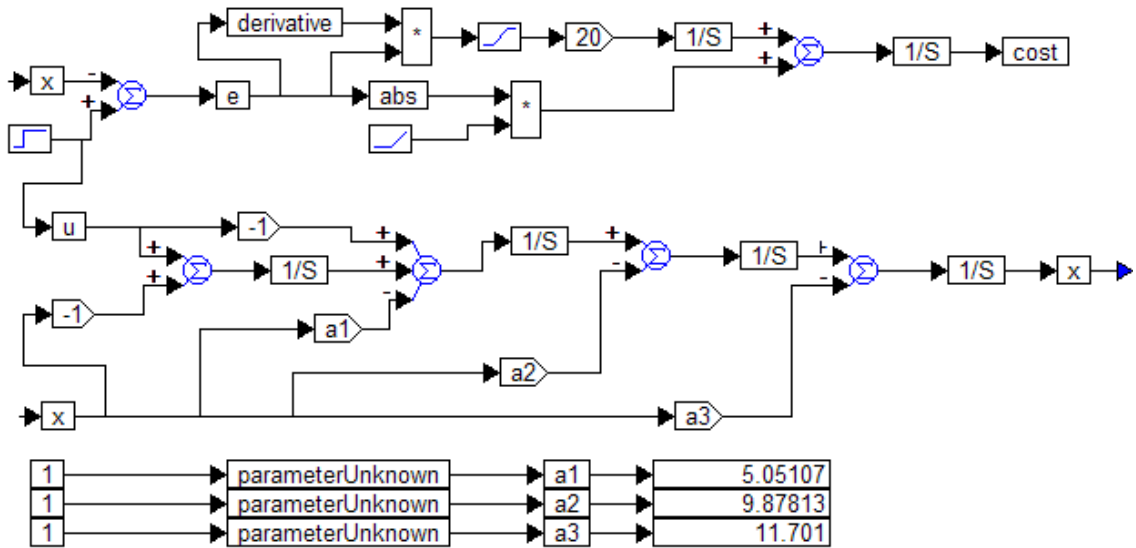


Рис. 3. Устройство для оптимизации фильтра четвертого порядка по критерию (6), (7)

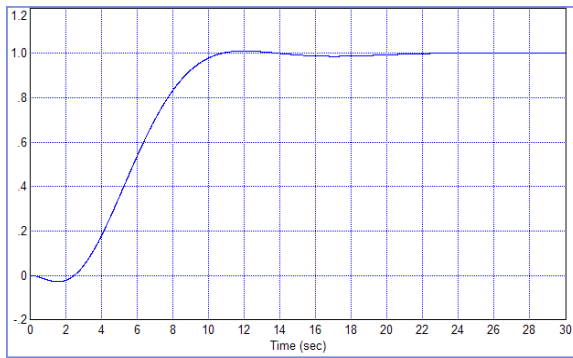


Рис. 4. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 3 с весовым коэффициентом  $k = 20$

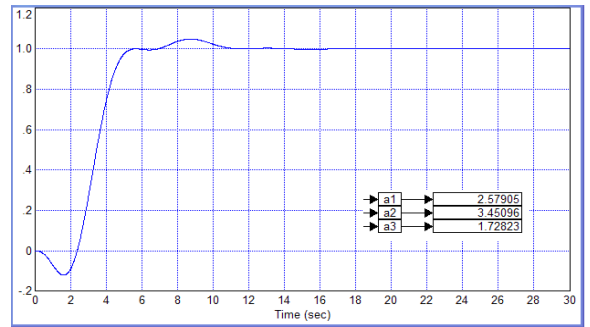


Рис. 6. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 3 по целевой функции (4)

Для сравнения на Рис. 6 показан аналогичный результат по целевой функции (4). Внешне эти результаты отличаются не существенно, хотя в целевой функции (5) существенное значение имеет скорость затухания модуля ошибки, а в целевой функции (4) значение имеет накопленный интеграл от модуля ошибки, вне зависимости от того, в какой момент времени эта ошибка имеет место.

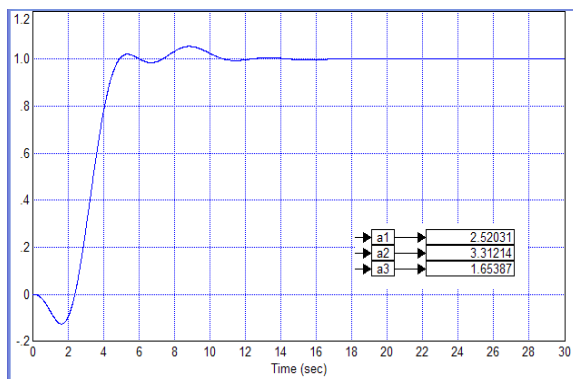


Рис. 5. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 3 с весовым коэффициентом  $k = 0$ , то есть по целевой функции (5)

На Рис. 7 показаны результаты исследований зависимости результата от коэффициента  $k$  в соотношении (7).

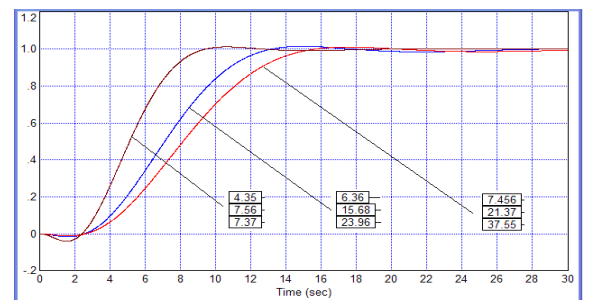


Рис. 7. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 3 с весовым коэффициентом  $k = 10$  (черная линия),  $k = 20$  (синяя линия) и  $k = 100$  (красная линия)

Видно, что выбором большого коэффициента можно полностью исключить оба вида перерегулирования (обратное и прямое), при небольшом коэффициенте эти перерегулирования имеются, но могут быть сделаны несущественными, что позволяет увеличить скорость переходного процесса. Соответственно, выбором промежуточного значения этого

коэффициента можно обеспечить достижение требуемого компромисса между требованиями высокого быстродействия и малого перерегулирования.

#### 4.2. Полиномы третьего порядка

Поставленная задача для полиномов третьего порядка решается упрощением структуры по Рис. 4. Из неё следует исключить лишний коэффициент, лишний интегратор и лишний сумматор, после чего восстановить целостность петли. Также следует удалить лишний блок оптимизации неизвестного параметра. Полученная структура показана на Рис. 8.

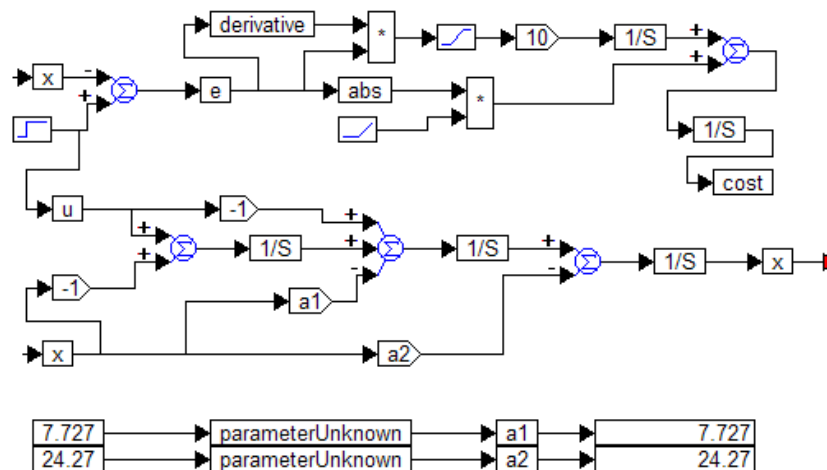


Рис. 8. Устройство для оптимизации фильтра четвертого порядка по критерию (6), (7)

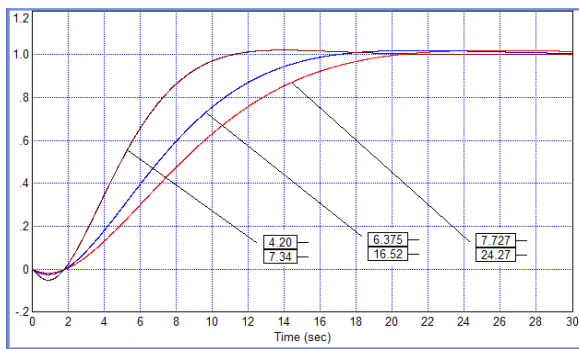


Рис. 9. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 8 с весовым коэффициентом  $k = 10$  (черная линия),  $k = 20$  (синяя линия) и  $k = 100$  (красная линия)

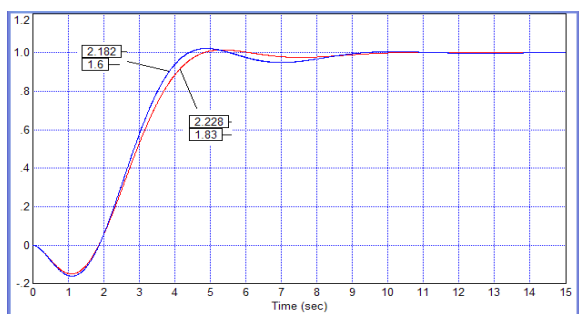


Рис. 10. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 8 по критерию (4) (синяя линия) и по критерию (5) (красная линия)

Результаты оптимизации по критерию (6), (7) с использованием этой структуры показаны на Рис. 9. На этом основании можно сделать аналогичные выводы о том, что выбором весового коэффициента можно обеспечить компромисс между требуемыми быстродействием и малым перерегулированием. На Рис. 10 показаны результаты оптимизации по критериям (4) и (5), видно, что результаты отличаются не существенно, в обоих случаях обратное перерегулирование достигает приблизительно 15 %.

#### 4.3. Полиномы пятого порядка

Поставленная задача для полиномов пятого порядка решается усложнением структуры по Рис. 4. В неё следует включить дополнительный коэффициент  $a_4$ , дополнительный интегратор и дополнительный сумматор, а также дополнительный блок оптимизации нового неизвестного параметра. Полученная структура показана на Рис. 11. Результаты оптимизации по критерию (6), (7) с использованием этой структуры показаны на Рис. 12. Результаты с коэффициентами  $k = 10$  и  $k = 50$  мало отличаются, графики сливаются, поэтому осуществлено дополнительное моделирование с коэффициентом  $k = 75$ .

На этом основании можно сделать аналогичные выводы о том, что выбором весового коэффициента можно обеспечить компромисс между требуемыми быстродействием и малым перерегулированием. На Рис. 13 показаны результаты оптимизации по критериям (4) и (5). Эти результаты неотличимы друг от друга. Коэффициенты отличаются в четвертом знаке, графики сливаются. Обратное перерегулирование отсутствует, графики и коэффициенты полинома похожи на графики и коэффициенты, полученные при  $k = 100$ .

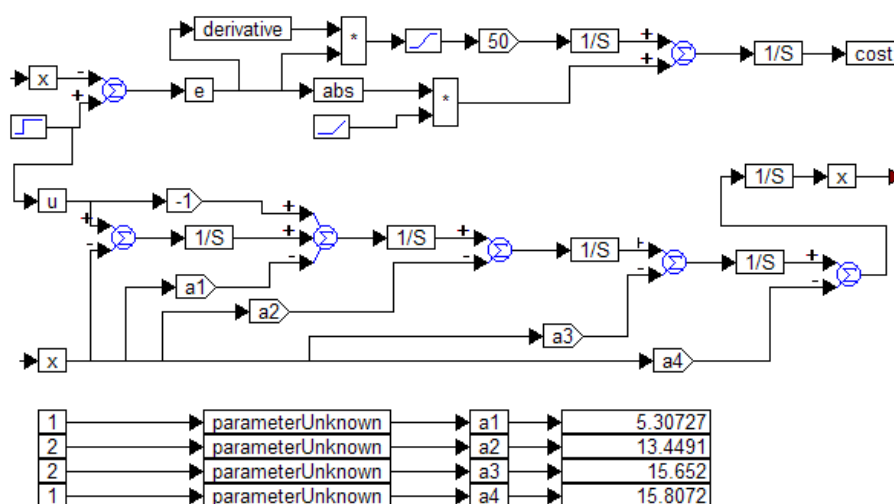


Рис. 11. Устройство для оптимизации фильтра пятого порядка по критерию (6), (7)

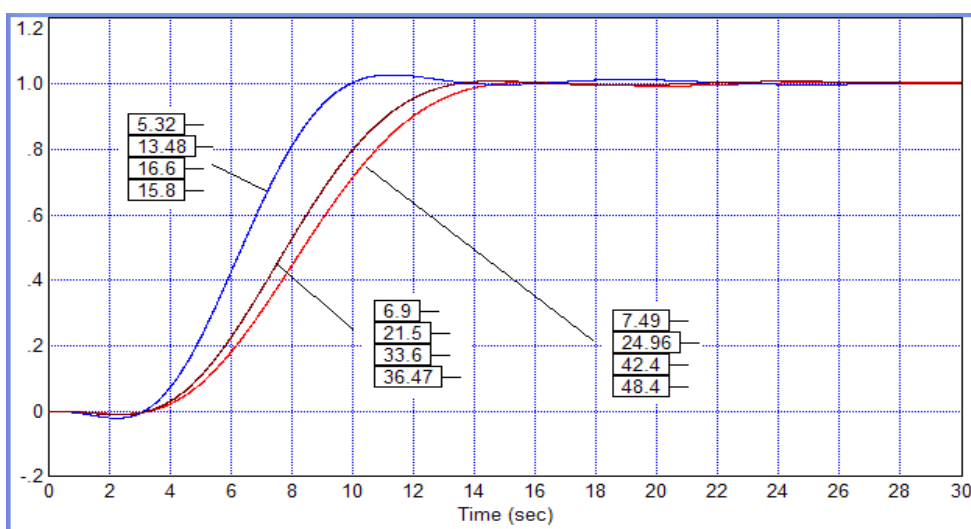


Рис. 12. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 11 с весовым коэффициентом  $k = 10$  (синяя линия),  $k = 75$  (черная линия) и  $k = 100$  (красная линия); при весовых коэффициентах 10 и 50 результат практически один и тот же (линии сливаются)

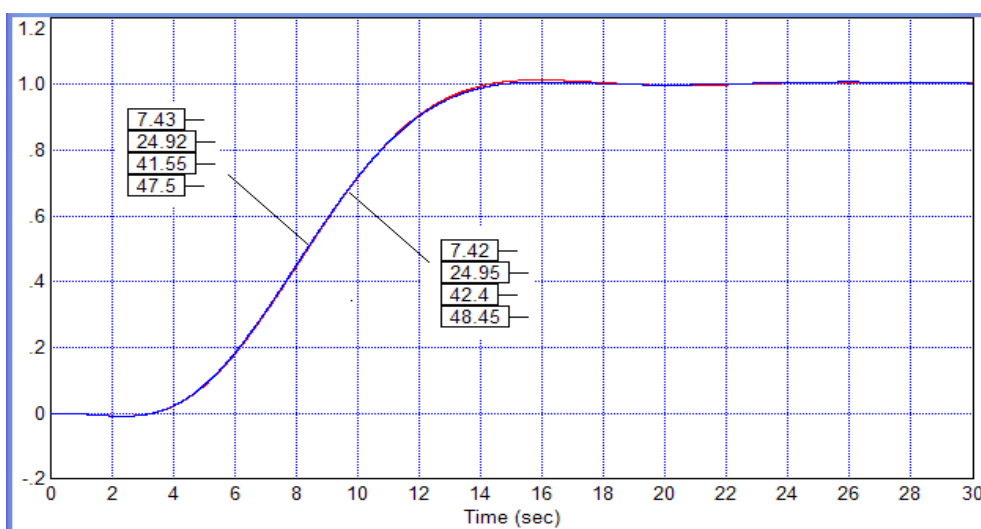


Рис. 13. Полученный переходный процесс в структуре по Рис. 11 по критерию (4) и по критерию (5) (графики сливаются)



## 5. СВОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований можно свести в таблицы, аналогичные тем, в которых сведены результаты, полученные в работе [3]. Эти результаты показаны в Таблицах 5–7. Аналогичные таблицы можно при необходимости рассчитать и составить для полиномов более высокого порядка (шестой и выше).

Таблица 5. Результаты расчета коэффициентов для полиномов третьего порядка

Значение $k$	$a_1$	$a_2$	Обозначение
10	4,2	7,34	Е
50	6,375	16,52	F
100	7,727	24,27	G
0	2,23	1,83	Н

Таблица 6. Результаты расчета коэффициентов для полиномов четвертого порядка

Значение $k$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	Обозначение
10	4,35	7,56	7,37	Е
20	5,05	9,87	11,7	J
50	6,36	15,68	23,96	F
100	7,456	21,37	37,55	G
0	2,52	3,32	1,65	Н

Таблица 7. Результаты расчета коэффициентов для полиномов пятого порядка

Значение $k$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	Обозначение
10	5,32	13,48	16,6	15,8	Е
75	6,9	21,5	33,6	36,47	F
100	7,49	24,96	42,2	48,4	G
0	7,42	24,95	42,4	48,4	Н

Полученные полиномы в большей степени соответствуют определению «желаемый характеристический полином замкнутой динамической системы». Переходные процессы в системах с такими характеристическими полиномами характеризуются пренебрежимо малым перерегулированием, или полным отсутствием перерегулирования. Особенно это важно в отношении обратного перерегулирования, которому в работе [3] не было уделено внимания. От предписанных коэффициентов полиномов легко можно перейти к положению корней полиномов на комплексной плоскости, если это потребуется. Для этого достаточно учесть, что во всех случаях  $a_0 = 1$ ,  $a_N = 1$ . Вычисление корней полинома по его коэффициентам для случая  $N = 2$  может быть сделано по известному соотношению, для полиномов более высокого порядка это можно сделать с помощью, например, программы *MATLAB*. По результатам можно графически оценить желаемое положение корней и построить область их расположения. Однако, для решения

задач автоматического управления этого не требуется, поскольку известные методики как раз опираются на задание желаемого характеристического полинома через его коэффициенты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности», проект № 471.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.С. Востриков, Г.А. Французова. Теория автоматического регулирования: учебник. М.: Высшая школа, 2006. - 365 с.
- [2] В. А. Жмудь, Г. А. Французова, А. С. Востриков. Динамика мехатронных систем: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. - 176 с.
- [3] В.А. Жмудь. Выбор желаемых полиномов характеристического уравнения замкнутой динамической системы. [http://zhurnal.lib.ru/editors/z/zhmudx\\_w\\_a/polinom.shtm](http://zhurnal.lib.ru/editors/z/zhmudx_w_a/polinom.shtm)
- [4] В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут, Л.В. Димитров. Структуры и методы цифрового управления колебательными объектами. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 19–30.
- [5] В.А. Жмудь, Л.В. Димитров. Адаптивные системы на основе конкурентных критериев оптимума. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 4 (14). Р. 19–25. ISSN 2312-4997.
- [6] В.А. Жмудь. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск. Издательство НГТУ. 2012. – 335 р. ISBN 978-5-7782-2162-8



**Вадим А. Жмудь**, заведующий кафедрой Автоматики в Новосибирском государственном техническом университете, <http://en.nstu.ru/>, автор более чем 300 научных работ, включая более 20 патентов, 12 учебных пособий. E-mail: [zhmud@corp.nstu.ru](mailto:zhmud@corp.nstu.ru)



**Любомир В. Димитров**, декан машиностроительного факультета Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS). E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)

## Calculation of the Desired Coefficients of the Characteristic Equation of the Locked Control System

V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov

*Abstract:* The choice of the desired polynomial is very relevant in the design of regulators. In the literature devoted to this problem are very few publications tend to this problem is solved at a primitive level, i.e. the selected polynomial having set equal multiple negative roots (binomial theorem), or the roots of the polynomial are set in a certain region of the negative half-plane (trapezoid, sphere, rectangle) . This choice is not only justified, but also far from optimal. The paper solves the problem of the selection on the basis of the requirements for dynamic and static properties of the control loop. For the first time in the solution of this problem among the criteria it effectiveness introduced in consideration of the reverse overshoot.

*Key words:* control, regulation, dynamic accuracy, the static accuracy of the characteristic polynomial of the system, the polynomial of desired dynamics

## REFERENCES

- [1] A.S. Vostrikov, G.A. Francuzova. Teoriya avtomaticheskogo regulirovaniya: uchebnik. M.: Vysshaja shkola, 2006. - 365 s.
- [2] V. A. Zhmud', G. A. Francuzova, A. S. Vostrikov. Dinamika mehatronnyh sistem: ucheb. posobie. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2014. - 176 s.
- [3] V.A. Zhmud. Vybór zhelaemyh polinomov harakteristicheskogo uravnenija zamknotoj dinamicheskoy sistemy. [http://zhurnal.lib.ru/editors/z/zhmudx\\_w\\_a/polinom.shtm](http://zhurnal.lib.ru/editors/z/zhmudx_w_a/polinom.shtm)
- [4] V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut, L.V. Dimitrov. Structure and Methods of Control of Oscillating Objects. Automatics & Software Engineering. 2016. № 1 (15). С. 19–30.
- [5] V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. “Adaptive feedback systems on the base of Concurrent Criteria of Optimum”. Automatics & Software Engineering. 2015. № 4 (14). P. 19–25. ISSN 2312-4997.
- [6] V.A. Zhmud. “Simulation, research and optimization of locked system of automatic control”. Monograph. Novosibirsk. Publishing house of NSTU. 2012. – 335 p. ISBN 978-5-7782-2162-8

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

### Содержание раздела:

- ❖ Ю.Е. Воскобойников. Вейвлет-фильтрация с двухпараметрическими пороговыми функциями: выбор функции и оценивание оптимальных параметров. (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 69–78.
- ❖ В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут, Ю.Н. Фомин, Л.В. Димитров. Перспективы развития систем для мониторинга сейсродинамики скальных пород (Новосибирск, Россия; София, Болгария). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 79–90.
- ❖ Гужов В.И., Несин Р.Б., Емельянов В.А. Представление преобразования Френеля в дискретной форме. (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 91–96.
- ❖ Гужов В.И., Емельянов В.А., Хайдуков Д.С. Область возможного применения дискретных преобразований Фурье и Френеля. (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 97–103.

# Вейвлет-фильтрация с двухпараметрическими пороговыми функциями: выбор функции и оценивание оптимальных параметров

Ю.Е. Воскобойников

**Аннотация:** В работе рассматривается оптимизация алгоритмов вейвлет-фильтрации с двухпараметрическими пороговыми функциями. Оптимизация алгоритмов вейвлет-фильтрации выполняется в двух направлениях: а) оптимизация за счет выбора наилучшей пороговой функции из используемых на практике функций; б) оптимизация путем оценивания оптимальных параметров наилучшей пороговой функции.

**Ключевые слова:** оценивание, вейвлет-преобразование, фильтрация

## ВВЕДЕНИЕ

Фильтрация в базисе вейвлет-функций (также как и Фурье-фильтрация) включает три этапа:

- вычисление прямого дискретного вейвлет-преобразования (нахождение коэффициентов разложения по зашумленным значениям дискретного сигнала);
- обработка «зашумленных» коэффициентов разложения;
- вычисление обратного дискретного вейвлет-преобразования (нахождение «сглаженных» значений дискретной функции).

Совокупность этих трех этапов принято называть *вейвлет-фильтрацией*. Очевидно, что качество фильтрации зашумленного сигнала определяется алгоритмами обработки, используемыми на втором этапе. Большинство применяемых на практике алгоритмов несут пороговый характер: коэффициент разложения меньший по абсолютной величине некоторой пороговой величины зануляется, в противном случае коэффициент сохраняется или подвергается некоторому (в общем случае нелинейному) преобразованию. Распространение на практике получили «жесткая» и «мягкая» пороговые функции, зависящие только от одного параметра –

величина порога. При этом выбор пороговой величины существенно влияет на ошибку фильтрации и эта величина, по сути, является управляющим параметром алгоритмов вейвлет – фильтрации [1-4].

Однопараметрические пороговые функции имеют известные недостатки (обсуждаемые ниже). В значительной степени эти недостатки преодолеваются при использовании двухпараметрических пороговых функций, зависящих уже от двух параметров. Наличие двух параметров ставит с особой остротой вопрос о вычислении оптимальных значений этих параметров, минимизирующих ошибку фильтрации. Однако отсутствие в литературе аргументированных и приемлемых (по точности фильтрации) алгоритмов выбора этих параметров объясняет слабое использование двухпараметрических пороговых функций на практике.

Данная работа посвящена оптимизации алгоритмов вейвлет-фильтрации с двухпараметрическими пороговыми функциями в двух аспектах:

- оптимизации за счет выбора наилучшей пороговой функции;
  - оптимизации путем оценивания оптимальных параметров пороговой функции.
- Заметим, что в рамках второго аспекта полученные результаты являются обобщением результатов работы, полученных для одной двухпараметрической функции [5].

**Двухпараметрические пороговые функции алгоритмов вейвлет – фильтрации.** Кратко приведем основные понятия и определения, необходимые для изложения результатов работы.

Многомасштабное (*multiresolution*) представление функции  $f(t)$  в базисе вейвлет-функции имеет вид [6]:

$$\hat{f}(t) = \sum_k a_{j_0+J,k} \varphi_{J,k}(t) + \sum_{j=j_0+1}^{j_0+J} \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad (1)$$

Функции  $\{\varphi_{j,k}(t)\}$  называют масштабирующими (или отцовскими), а функции

$\{\psi_{j,k}(t)\}$  – вейвлет – функциями (или материнскими). Коэффициенты разложения

$a_{j,k}$  называют аппроксимирующими,  $d_{j,k}$  - детализирующими и они определяются

$$a_{j,k} = \int_R f(t)\varphi_{j,k}(t)dt, \quad d_{j,k} = \int_R f(t)\psi_{j,k}(t)dt, \quad (2)$$

где  $R$  – интервал определения функции  $f(t)$ . Переменная  $j$  характеризует уровень разложения и ее часто называют коэффициентом масштаба, а переменная  $k$  – временной сдвиг той или иной базисной функции. Системы функций  $\{\varphi_{j,k}(t)\}$ ,  $\{\psi_{j,k}(t)\}$  составляют ортогональный базис пространств вейвлет – функций (подробнее см. [3,4]). Заметим, что чем меньше номер  $j$ , тем более «мелкие» структуры исходной функции  $f(t)$  могут быть представлены в базисах  $\{\varphi_{j,k}(t)\}$ ,  $\{\psi_{j,k}(t)\}$  и тем ближе реконструированный сигнал  $\hat{f}(t)$  к исходному.

Теоретической основой пороговых алгоритмов вейвлет-фильтрации является следующая предпосылка: уровень коэффициентов разложения случайных ошибок исходных сравнительно мал по сравнению с коэффициентами разложения точного сигнала, что позволяет распознать две ситуации: «шумовой» коэффициент (в основном обусловлен шумом измерения) и «информативный» коэффициент (в основном определяется значениями точного сигнала). Таким образом, для успешной фильтрации необходимо обратить в ноль шумовые коэффициенты, сохранив при этом информативные коэффициенты разложения. Эта идея реализуется пороговыми алгоритмами обработки «зашумленных» коэффициентов разложения.

На практике широко используются две пороговые функции:

выражениями:

- «жесткая» пороговая функция вида:
 
$$T_H(\tilde{d}, \lambda) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\tilde{d}| \leq \lambda; \\ \tilde{d}, & \text{если } |\tilde{d}| > \lambda \end{cases} \quad (3)$$

- «мягкая» пороговая функция вида:
 
$$T_S(\tilde{d}, \lambda) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\tilde{d}| \leq \lambda, \\ \text{sign}(\tilde{d}) \cdot [|\tilde{d}| - \lambda], & \text{если } |\tilde{d}| > \lambda; \end{cases} \quad (4)$$

где  $\lambda$  – величина порога,  $\tilde{d}$  – обрабатываемый коэффициент разложения (как правило – это детализирующие коэффициенты, относительная погрешность которых на порядок и более выше, чем у аппроксимирующих коэффициентов (см. [4], стр. 58-60). Графики функций (3), (4) приведены на рис. 1 для  $\lambda = 1$  (1 – график функции (3), 2 – функция (4)).

Отметим характерные особенности этих функций:

- из-за уменьшения амплитуды коэффициента разложения на величину  $\lambda$  в функции  $T_S(\tilde{d}, \lambda)$  возможно сглаживание (размытие) контрастных элементов обрабатываемого сигнала, особенно при больших значениях  $\lambda$ ;

- наличие в функции  $T_H(\tilde{d}, \lambda)$  разрыва в окрестности  $\lambda$  может вызвать появление осцилляций (эффект Гиббса) в «особых» точках обрабатываемого сигнала.

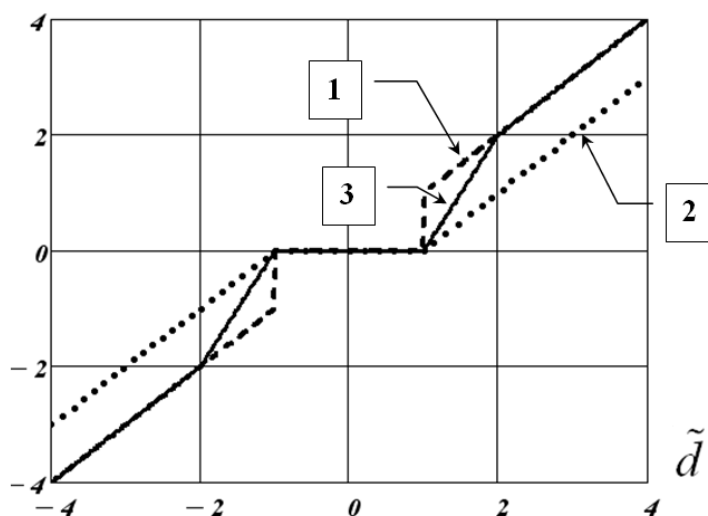


Рис. 1. Графики пороговых функций (3), (4), (5)

Для преодоления этих недостатков в литературе были предложены *двухпараметрические функции*, которые сейчас будут рассмотрены.

1. Пороговая функция  $T_{SS}(\tilde{d}, \lambda_1, \lambda_2)$  [7] (обозначаемая в зарубежной литературе как *semisoft* или *firm*) вида:

$$T_{SS}(\tilde{d}, \lambda_1, \lambda_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\tilde{d}| \leq \lambda_1; \\ \text{sign}(\tilde{d}) \frac{\lambda_2 (|\tilde{d}| - \lambda_1)}{\lambda_2 - \lambda_1}, & \text{если } \lambda_1 < |\tilde{d}| \leq \lambda_2, \\ \tilde{d}, & \text{если } |\tilde{d}| > \lambda_2, \end{cases} \quad (5)$$

которая включает уже две пороговые величины  $\lambda_1, \lambda_2$ . График этой функции (при  $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 2$ ) приведен на рис. 1 (кривая 3). В работе [7] были исследованы статистические характеристики ошибок фильтрации для трех пороговых функций (3), (4), (5). Было показано (аналитически и в вычислительном

эксперименте), что функция (3) имеет наименьшее смещение, функция (4) – наименьшую дисперсию, функция (5) – наименьшую СКО фильтрации.

2. Пороговая функция  $T_Z(\tilde{d}, \lambda_1, \lambda_2)$  [8], определяемая выражением:

$$T_Z(\tilde{d}, \lambda_1, \lambda_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\tilde{d}| \leq \lambda_1; \\ \frac{\tilde{d}}{e-1} \cdot \left( e^{\frac{|\tilde{d}| - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}} - 1 \right), & \text{если } \lambda_1 < |\tilde{d}| \leq \lambda_2, \\ \tilde{d}, & \text{если } |\tilde{d}| > \lambda_2, \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 2 представлены графики функции (6) (кривая 1) и функции (5) (кривая 2), построенные при  $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 2$ . Видно, что на

интервале  $[\lambda_1, \lambda_2]$  функция (6) отличается от прямой (которая присутствует в функции (5)).

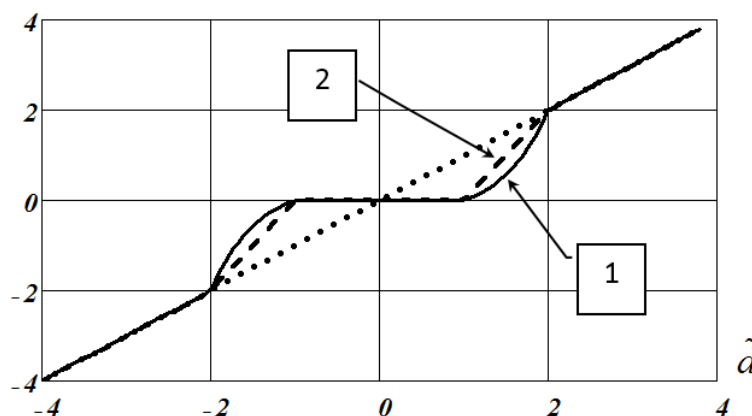


Рис. 2. Графики пороговых функций (5), (6)

3. Комбинированная пороговая функция  $T_{COM}(\tilde{d}, \lambda, \alpha)$  [9], определяемая выражением:

$$T_{COM}(\tilde{d}, \lambda, \alpha) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\tilde{d}| \leq \lambda; \\ (1 - \mu)T_H(\tilde{d}, \lambda) + \mu T_S(\tilde{d}, \lambda), & \text{если } |\tilde{d}| > \lambda, \end{cases} \quad (7)$$

где  $\mu = \alpha \left( \frac{|\tilde{d}| - \lambda}{\lambda} \right)^2$ . Эта пороговая функция есть линейная комбинация «жесткой» и «мягкой» пороговых функций и она также

включает два параметра  $\lambda, \alpha$ , при этом  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Очевидно, что при  $\alpha = 0$  значение  $\mu = 0$  и

$T_{COM}(\tilde{d}, \lambda, 0) = T_H(\tilde{d}, \lambda)$ . Если  $\alpha = 1$ , то  $\mu = 1$  и  $T_{COM}(\tilde{d}, \lambda, 1) = T_S(\tilde{d}, \lambda)$ . На рис. 3 приведены графики функции  $T_{COM}(\tilde{d}, 3, \alpha)$  при различных значениях параметра  $\alpha$ : кривая 1 -  $\alpha = 0.001$ ; кривая

2 -  $\alpha = 0.5$ ; кривая 3 -  $\alpha = 0.99$ . Эти кривые хорошо иллюстрируют изменение пороговой функции при вариации параметра  $\alpha$ .

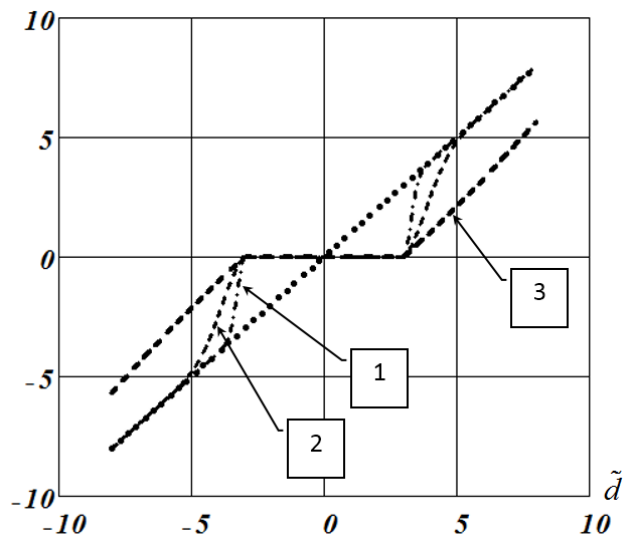


Рис. 3. Графики пороговой функции (7) при разных значениях параметра  $\alpha$

Очевидно, что различное поведение этих функций обуславливает разную ошибку алгоритмов вейвлет-фильтрации с использованием двухпараметрических пороговых функций. Возникает нетривиальный вопрос: *какая из трех приведенных выше пороговых функций имеет меньшую ошибку фильтрации?* Ответ на этот вопрос позволил бы рекомендовать эту функцию для использования на практике и перейти к оценке оптимальных параметров этой функции.

**Выбор наилучшей пороговой функции.** К сожалению, в литературе (как в отечественной,

так и в зарубежной) отсутствуют аналитические или экспериментальные сравнения по точности фильтрации этих пороговых функций. Поэтому ответ на поставленный вопрос дадим из анализа результатов выполненного вычислительного эксперимента.

В качестве тестовых функций использовались две функции, часто применяемых в зарубежных исследованиях и значения которых  $f_i, i = 1, 2, \dots, 2048$ , представлены на рис. 4 (назовем тест-функция 1) и на рис. 5 (тест-функция 2).

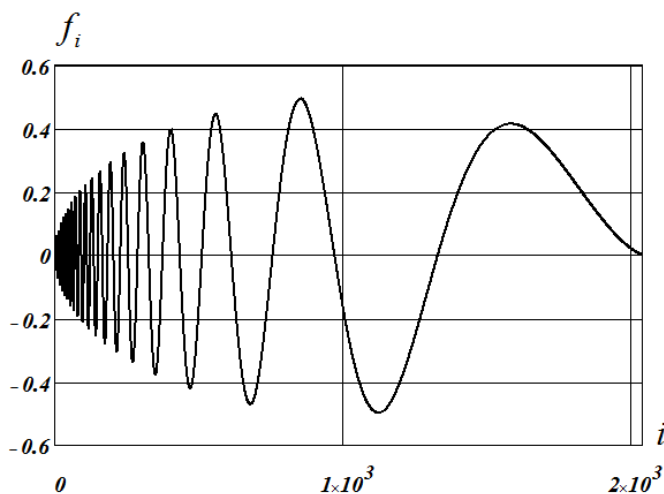


Рис. 4. График значений тест-функции 1



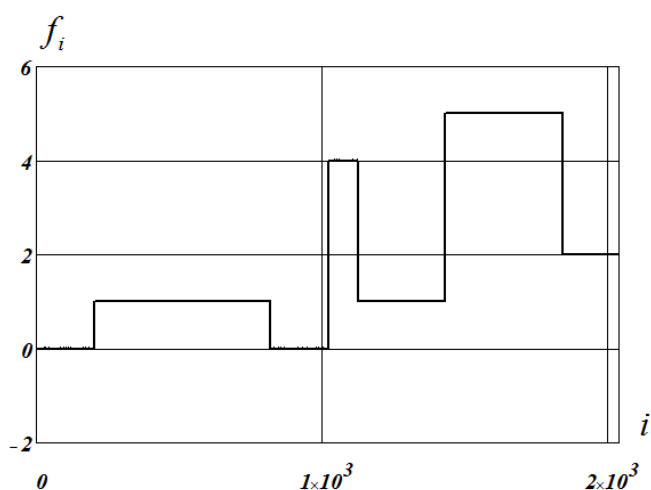


Рис. 5. График значений тест-функции 2

Исходные («зашумленные») данные формировались как

$$\tilde{f}_i = f_i + \eta_i, \quad i = 1, 2, \dots, 2048,$$

где  $f_i$  - «точные» значения тестовой функции,  $\eta_i$  - псевдослучайные числа (шум измерения), подчиняющиеся нормальному распределению с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ . Значения дисперсии задавалось через относительный

уровень  $\delta_\eta = \frac{\|\eta\|}{\|f\|}$  шума измерения, где

$\|\eta\|, \|f\|$  - евклидовы нормы соответствующих векторов. Точность вейвлет-фильтрации определялась величиной относительной ошибки:

$$\delta_f(T) = \frac{\|\hat{f}(T) - f\|}{\|f\|}, \quad (8)$$

где  $\hat{f}(T)$  - вектор - результат вейвлет-фильтрации с пороговой функцией  $T$ . Очевидно, что  $\delta_f(T)$  является случайной величиной и поэтому по выборке вычислялась выборочная оценка математического ожидания этой случайной величины:

$$\bar{\delta}_f(T) = \frac{1}{N_s} \cdot \sum_{l=1}^{N_s} \delta_f^{(l)}(T), \quad (9)$$

где  $N_s = 30$  - объем выборки,  $\delta_f^{(l)}(T)$  - относительная ошибка фильтрации  $l$ -ой реализации данных  $\tilde{f}^{(l)} = f + \eta^{(l)}$ . В качестве вейвлет-функций использовались вейвлеты Добеши8. Так как в вычислительном эксперименте известны «точные» значения  $f_i$ , то в первой серии вычислительного эксперимента находилась минимальная ошибка фильтрации для каждой пороговой функции путем минимизации  $\bar{\delta}_f(T)$  по двум параметрам пороговой функции. В таблице 1 приведены отношения этих минимальных ошибок к минимальной ошибке пороговой функции (5) -  $\bar{\delta}_f(T_{SS})$ . Значение больше 1 говорит о проигрыше по точности фильтрации сравниваемой пороговой функции по отношению к «базовой» пороговой функции (5).

Таблица 1

Относительный уровень шума $\delta_\eta$	Отношение $\frac{\bar{\delta}_f(T_H)}{\bar{\delta}_f(T_{SS})}$	Отношение $\frac{\bar{\delta}_f(T_S)}{\bar{\delta}_f(T_{SS})}$	Отношение $\frac{\bar{\delta}_f(T_Z)}{\bar{\delta}_f(T_{SS})}$	Отношение $\frac{\bar{\delta}_f(T_{COM})}{\bar{\delta}_f(T_{SS})}$
Тест-функция 1				
0.01	1.055	1.216	1.011	1.062
0.05	1.067	1.186	1.009	1.057
0.10	1.085	1.168	0.994	1.052
Тест-функция 2				
0.01	1.065	1.317	1.013	1.054
0.05	1.074	1.182	1.011	1.033
0.10	1.089	1.142	0.998	1.031

Анализ этой таблицы показывает, что:

- «жесткая» и «мягкая» пороговые функции имеют наибольшую ошибку фильтрации, особенно последняя – у нее превышение ошибки составляет 20-30 %;
- наименьшую ошибку фильтрации имеет пороговая функция (5) – для всех уровней шума и используемых тестовых сигналов отношение больше 1. Ближайшим конкурентом является пороговая функция (6), которая чуть-чуть точнее при уровне шума 0.10 (отношение

$$\frac{\bar{\delta}_f(T_Z)}{\bar{\delta}_f(T_{SS})} = 0.994 \div 0.998,$$

но проигрывает по точности для других уровней шума.

Поэтому в качестве «наилучшей» двухпараметрической пороговой функции можно принять две пороговых функций (5), (6), которые «эквивалентны» по точности фильтрации и своей структуре, зависят от двух параметров  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и эти параметры существенно влияют на ошибку фильтрации. Однако в литературе (как отечественной, так и зарубежной) до работ автора [4,5] отсутствовали алгоритмы выбора порогов  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , позволяющие с приемлемой точностью оценить оптимальные пороги  $\lambda_{1opt}$ ,  $\lambda_{2opt}$ , доставляющие минимум СКО фильтрации, определяемой выражением:

$$\Delta(\lambda_1, \lambda_2) = M \left[ \|\hat{f}_{\lambda_1, \lambda_2} - f\|^2 \right],$$

где  $M[\ ]$  - оператор математического ожидания по плотности распределения шума,  $f, \hat{f}_{\lambda_1, \lambda_2}$  - векторы, проекции которых равны значениям «точного» и «сглаженного» (при заданных пороговых величинах  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ) сигналов.

Заметим, что для однопараметрических пороговых функций (3), (4) предложено несколько алгоритмов выбора пороговой величины  $\lambda$ . В работах [2,4] сделано сравнение некоторых из этих алгоритмов. Показано, что алгоритм, построенный на основе критерия оптимальности (используемого для выбора параметра регуляризации [10-12]) позволяет достаточно точно оценить оптимальное

$$\rho_w(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{\sigma^2} \langle e_{\lambda_1, \lambda_2}, \tilde{f} \rangle = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N (e_{\lambda_1, \lambda_2})_i \cdot \tilde{f}_i. \quad (10)$$

Также как и в линейных алгоритмах фильтрации [3] в качестве оценок для  $\lambda_{1opt}$ ,  $\lambda_{2opt}$ , примем

$$\mathcal{G}_{m, \gamma/2} \leq \rho_w(\lambda_{1w}, \lambda_{2w}) \leq \mathcal{G}_{m, 1-\gamma/2}, \quad (11)$$

где  $\mathcal{G}_{m, \gamma/2}$ ,  $\mathcal{G}_{m, 1-\gamma/2}$  квантили  $\chi_m^2$  - распределения

значение порога  $\lambda_{opt}$ , при котором СКО фильтрации минимальна. В работах [4,5] на основе критерия оптимальности построен алгоритм оценивания оптимальных значений  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  функции (5). Ниже этот подход будет распространен и для выбора порогов функции (6).

**Оценивание оптимальных пороговых величин  $\lambda_{1opt}$ ,  $\lambda_{2opt}$  на основе критерия оптимальности.** Предположим, что:

- вместо точных значений  $f_i$  дискретной сигнала даны (известны) зашумленные значения

$$\tilde{f}_i = f_i + \eta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где шум измерения  $\eta_i$  имеет нулевое среднее  $M[\eta_i] = 0$ , дисперсию  $\sigma^2$  и значения  $\eta_i$ ,  $\eta_j$  не коррелированы при  $i \neq j$ ;

- базисные функции  $\{\varphi_{j,k}(t)\}$ ,  $\{\psi_{j,k}(t)\}$  являются ортонормированными, что соответствует ортогональным вейвлетам (вейвлеты Добеши, Симлета, Кайфлета);

Для оценки оптимальных значений  $\lambda_{1opt}$ ,  $\lambda_{2opt}$  функций (5), (6) обратимся к критерию оптимальности. Критерий оптимальности был предложен в работе [10] и широко используется для выбора параметра регуляризации линейных регуляризирующих алгоритмов решения некорректных задач (например, [11,12]). Алгоритмы, построенные на основе этого критерия, позволяют оценить оптимальный (с хорошей точностью) параметр регуляризации, не используя при этом количественную информацию об искомом решении задачи. Для оценивания оптимального параметра сглаживания линейных алгоритмов Фурье-фильтрации этот критерий использовался в работе [3]. Хотя пороговые функции делают алгоритм вейвлет-фильтрации нелинейным, попытаемся использовать идею критерия оптимальности для оценивания оптимальных пороговых величин  $\lambda_{1opt}$ ,  $\lambda_{2opt}$ . Для этого определим вектор невязки  $e_{\lambda_1, \lambda_2} = \tilde{f} - \hat{f}_{\lambda_1, \lambda_2}$  и введем статистику:

значения  $\lambda_{1w}$ ,  $\lambda_{2w}$ , для которых статистика  $\rho_w(\lambda_{1w}, \lambda_{2w})$  удовлетворяет неравенству:

с  $m$  степенями свободы уровней  $\gamma/2$ ,  $1-\gamma/2$

соответственно,  $\gamma$  - вероятность ошибки первого рода при проверке статистической гипотезы об оптимальности параметра сглаживания (обычно  $\gamma = 0.05$ ),  $m = N$  - число значений фильтруемого сигнала (проекция вектора  $\tilde{f}$ ). Если число степеней свободы  $m > 30$  (в задачах фильтрации это всегда выполняется), то  $\chi_m^2$ -распределение хорошо аппроксимируется нормальным распределением с математическим ожиданием  $m$  и дисперсией  $2m$ . Тогда, приняв вероятность ошибки первого рода  $\gamma = 0.05$ , получаем формулы для вычисления квантилей, входящих в неравенство (11)

$$\mathcal{G}_{m,0.025} = m - 1.96\sqrt{2m};$$

$$\mathcal{G}_{m,0.975} = m + 1.96\sqrt{2m}. \quad (12)$$

Для вычисления оценок  $\lambda_{1W}, \lambda_{2W}$ , следуя работе [5] пороговые величины  $\lambda_1, \lambda_2$  функций (5), (6) определим в виде:

$$\lambda_1(\beta) = \beta \cdot \sqrt{2 \ln(N_j)};$$

$$\lambda_2(\beta, C) = \beta \cdot C \sqrt{2 \ln(N_j)}, \quad (13)$$

где  $N_j$  - количество обрабатываемых коэффициентов  $j$ - уровня, множитель  $C > 1$  следует из неравенства  $\lambda_2 > \lambda_1$  (см. (5), (6)).

Заметим, что сомножитель  $\sqrt{2 \cdot \ln(N_j)}$  делает пороги уровневзависимыми и обеспечивает асимптотическую оптимальность пороговых

$$\rho_W(\beta, C) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{j=j_0+1}^{j_0+J} \sum_k \tilde{d}_{j,k} \cdot \left( \tilde{d}_{j,k} - T(\tilde{d}_{j,k}, \lambda_1(\beta), \lambda_2(\beta, C)) \right). \quad (18)$$

Это позволяет находить значения критерия (при реализации процедуры минимизации) в пространстве коэффициентов вейвлет-разложения, а затем (при найденных  $\beta_W, C_W$  и вычисленных  $\hat{d}_{j,k}$ ) только один раз выполнить обратное вейвлет-преобразование и получить сглаженные значения функции.

Отметим некоторые свойства  $\rho_W(\beta, C)$ , которые следуют из (18):

$$\rho_W(\beta, C) \rightarrow \frac{1}{\sigma^2} \sum_{j=j_0+1}^{j_0+J} \sum_k \tilde{d}_{j,k}^2 = \frac{1}{\sigma^2} \|\tilde{f}\|^2. \quad (19)$$

Последнее равенство имеет место для ортогональных вейвлетов при соответствующей нормировке базисных функций. Два последних свойства обуславливают следующее утверждение.

**Утверждение.** Если выполняется неравенство

величин по порядку при  $N_j \rightarrow \infty$ .

Следовательно, необходимо оценить  $\beta_{opt}, C_{opt}$ , используя статистику (10), т.е. вычислить значения  $\beta_W, C_W$ , которые удовлетворяют неравенству:

$$\mathcal{G}_{m,\gamma/2} \leq \rho_W(\beta_W, C_W) \leq \mathcal{G}_{m,1-\gamma/2}. \quad (14)$$

Тогда оценки  $\lambda_{1W}, \lambda_{2W}$  определяются выражениями:

$$\lambda_{1W} = \beta_W \cdot \sqrt{2 \ln(N_j)};$$

$$\lambda_{2W} = \beta_W \cdot C_W \sqrt{2 \ln(N_j)}, \quad (15)$$

Для вычисления  $\beta_W, C_W$  вместо решения нелинейного уравнения

$$\rho_W(\beta, C) = m, \quad (16)$$

включающего две неизвестные величины  $\beta, C$ , рассмотрим задачу минимизации функционала

$$F(\beta, C) = |\rho_W(\beta, C) - m|^2. \quad (17)$$

Заметим, что решение этой задачи всегда существует и для его нахождения можно использовать известные процедуры минимизации. В качестве  $\beta_W, C_W$  принимается такой элемент  $\{\beta^{(n)}, C^{(n)}\}$  минимизирующей последовательности, для которого выполняется неравенство (14).

Можно показать, что при использовании ортогональных вейвлетов критерий  $\rho_W(\beta, C)$  вычисляется через коэффициенты вейвлет-разложения:

- все слагаемые, входящие в формулу (18), не отрицательны (могут изменяться от 0 до  $\tilde{d}_{j,k}^2$ ) и поэтому  $\rho_W(\beta, C) \geq 0$ ;
- при  $\beta \rightarrow 0$  и  $C < \infty$  справедлив предел  $\rho_W(\beta, C) \rightarrow 0$ ;
- при  $\beta \rightarrow \infty$  и  $C < \infty$  справедлив предел

$$\rho_W(\infty, C) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N \tilde{f}_i^2 > \mathcal{G}_{m,1-\gamma/2}, \quad (20)$$

то существуют конечные значения  $\beta_W, C_W$ , для которых выполняется неравенство (14).

Невыполнение условия (14) означает, что значения  $\tilde{f}_i = \eta_i$ , т.е.  $f_i \equiv 0$ . В этом случае

$\beta_w = \infty$  и сглаженные значения равны 0.

Заметим, что изложенный алгоритм построения оценок  $\beta_w, C_w$  легко обобщается для вейвлет-фильтрации изображений. В этом случае число степеней свободы  $m$  (см. неравенство (14)) определяется как  $m = N_x \cdot N_y$ , где  $N_x, N_y$  – размеры фильтруемого изображения.

Существенной чертой приведенного алгоритма вычисления  $\theta_w$  является использование дисперсии шума  $\sigma^2$ . На практике, как правило, эта величина неизвестна, и в этом случае можно использовать оценку для среднеквадратического отклонения  $\sigma$ :

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{median}(|\tilde{d}_{1,k}|)}{0.6745}, \quad (21)$$

где оператор  $\text{median}(|\tilde{d}_{1,k}|)$  вычисляет медиану абсолютных величин детализирующих коэффициентов уровня разложения  $j_0 + 1$  (объем выборки равен  $N/2$ ). Эта оценка широко используется в робастных алгоритмах

$$\delta_f(T(\beta, C)) = \frac{\|\hat{f}(T(\beta, C)) - f\|}{\|f\|}. \quad (22)$$

Первоначально рассмотрим зависимость  $\delta_f(T(\beta, C))$  от различных параметров пороговых функций (5), (6). На рис. 6 а) приведены изолинии функционала  $\bar{\delta}_f(T_{SS}(\beta, C))$ , равным среднему значению функционалов  $\delta_f(T_{SS}(\beta, C))$  (объем выборки равен 30), которые были вычислены при уровне шума  $\delta_\eta = 0.15$  для тест-функции 2. На рис. 6 б) представлены изолинии функционала  $\bar{\delta}_f(T_Z(\beta, C))$ . На этих рисунках по оси абсцисс отложен параметр  $\beta$ , по оси ординат –  $C$ . Видно, что у пороговой функции (5) ошибка фильтрации сильно зависит от  $\beta$ , и практически не зависит от параметра  $C$ . Для пороговой функции (6) наблюдается зависимость ошибки фильтрации как от  $\beta$ , так и от  $C$ , что предъявляет более строгие требования к точности оценивания  $C_{opt}$  и поэтому эта пороговая функция является менее предпочтительной по сравнению с функцией (5).

регрессионного анализа. Применительно к алгоритмам вейвлет - фильтрации эта оценка исследовалась в работе [3,4], где была показана приемлемая точность оценки (21). Так для заданной дисперсии  $\sigma^2 = 0.91 \cdot 10^{-1}$  значения оценки (21), вычисленные по 30 реализациям длиной ( $N/2=1024$ ) находились в интервале  $[0.88 \cdot 10^{-1}, 0.97 \cdot 10^{-1}]$ .

**Численные исследования алгоритма выбора пороговых величин.** Приведем некоторые результаты второй серии вычислительного эксперимента, целью которых являлось исследование точности оценивания оптимальных значений пороговых величин на основе критерия оптимальности.

В качестве тестовых сигналов были взяты тест-функции № 1, №2 (см. рис. 4, 5). Относительный уровень шума определялся величиной  $\delta_\eta$ , а относительная ошибка фильтрации (зависящая уже от двух величин  $\beta, C$ ) выражением

Перейдем к исследованию эффективности оценивания оптимальных параметров пороговых функций предложенным алгоритмом на основе минимизации функционала (17). В ячейках таблицы 2 приведены значения средних величин  $\bar{\delta}_f(T_{SS}(\beta, C))$ , вычисленные для тест-функции 2 и уровня шума 0.15. Затемненные ячейки соответствуют парам параметров  $(\beta_w, C_w)$ , для которых удовлетворяется неравенство (14) и которые являются оценками для оптимальных параметров  $\beta_{opt}, C_{opt}$ . Видно, что эти ячейки соответствуют минимальным (или практически минимальным) значениям относительной ошибки фильтрации и следовательно параметры  $\beta_w, C_w$  являются эффективными оценками для оптимальных параметров пороговой функции (5). Аналогичная картина наблюдается и для пороговой функции (6).

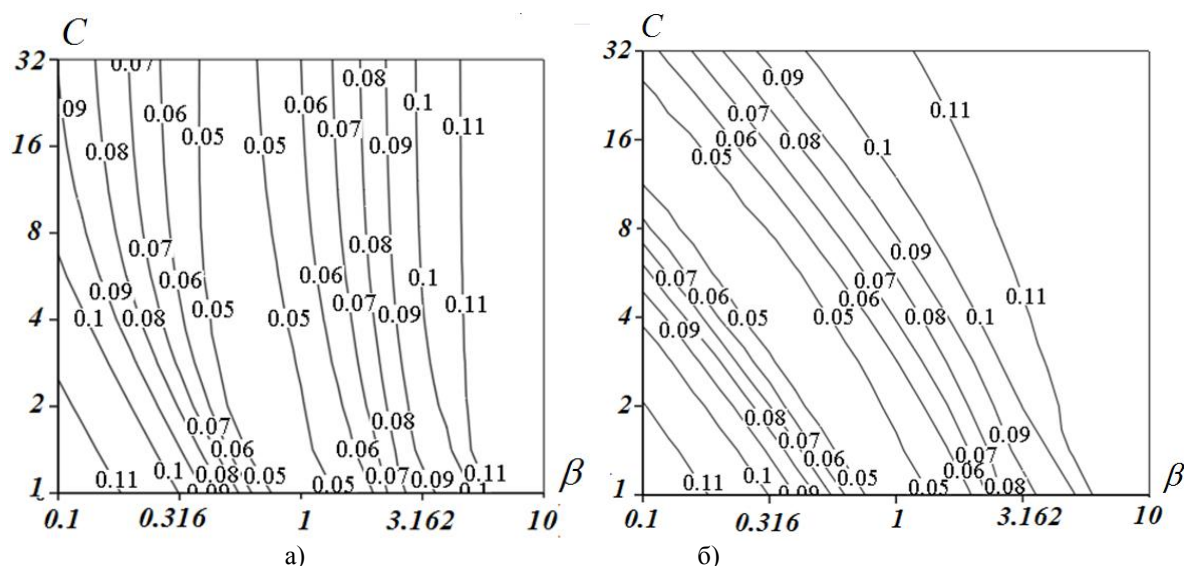


Рис. 6. Графики изолиний относительных ошибок вейвлет-фильтрации

Таблица 2

$C \backslash \beta$	1.414	2.00	2.828	4.00	5.657	8.00	11.314
0.251	0.100	0.091	0.081	0.073	0.068	0.065	0.064
0.316	0.091	0.079	0.068	0.062	0.058	0.056	0.055
0.398	0.078	0.063	0.055	0.052	0.05	0.049	0.049
0.501	0.060	0.050	0.046	0.045	0.045	0.046	0.047
0.631	0.047	0.044	0.044	0.045	0.045	0.046	0.047
0.794	0.045	0.046	0.047	0.048	0.050	0.051	0.052
1.00	0.047	0.049	0.051	0.053	0.055	0.057	0.058
1.259	0.053	0.055	0.058	0.060	0.063	0.064	0.066
1.585	0.058	0.062	0.066	0.069	0.071	0.073	0.075

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к выбору параметров двухпараметрических пороговых функций позволяет с приемлемой точностью оценить оптимальные пороги как для пороговой функции (5), так и для функции (6). Однако, использование функции (5) в пороговых алгоритмах вейвлет-фильтрации является более предпочтительным по сравнению с функцией (6) из-за меньшей минимальной ошибки фильтрации (см. табл. 1) и менее жестких требований к точности оценивания оптимальных пороговых величин (см. рис. 6).

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Fodor, I. K., Kamath C. Denoising through Wavelet Shrinkage: An Empirical Study//SPIE Journal on Electronic Imaging. 2003. vol. 12, N 1, p. 151-160.  
 [2] Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В. Оценивание оптимальных пороговых величин в алгоритмах вейвлет-фильтрации изображений. Автометрия. 2011. т. 47. №2. С. 3-12.  
 [3] Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В., Колкер А.В. Фильтрация сигналов и изображений: Фурье и

вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad) Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. 188 с.  
 [4] Воскобойников Ю.Е. Вейвлет-фильтрация сигналов и изображений (с примерами в Mathcad) Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2015. 196 с.  
 [5] Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В. Построение алгоритмов вейвлет-фильтрации с двухпараметрическими пороговыми функциями. Автометрия. 2012. т. 48. N 1. P. 17-29.  
 [6] Mallat S. A theory of multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1989. v.11. N 9. P. 674-693.  
 [7] Gao H-Y, Bruce A.G. Waveshrink with firm shrinkage. Statistica Sinica. 1997. V. 7. P. 855-874.  
 [8] Lin Y, Ma Y, Liu F, Zhang X. The research based on genetic algorithm of wave image denoising threshold of medicine//Journal of chemical and pharmaceutical research. – 2014. V. 6. N 6. – P. 2458-2462.  
 [9] Liu T., Zeng X.L., Zeng J. Getting practical wavelet analyses. National defense industry press. China: Beijing. 2006. 352 P.  
 [10] Воскобойников Ю. Е. Оценивание оптимального параметра регуляризирующего алгоритма восстановления изображений. Ю. Е. Воскобойников. Автометрия. 1995. № 3. С. 64–72.  
 [11] Воскобойников Ю. Е. Устойчивые методы и алгоритмы параметрической идентификации:

монография. Ю. Е. Воскобойников. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. 186 с.

- [12] Воскобойников Ю.Е. Устойчивые алгоритмы решения обратных измерительных задач: Монография. Ю. Е. Воскобойников. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), НГАСУ. 2007. 184 с.



**Воскобойников Юрий Евгеньевич**, доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный работник Высшей школы РФ, Соросовский профессор, действительный член МАИ, РАЕ, МАН ВШ, заведующий кафедрой прикладной математики Новосибирского государственного ар-

хитектурно-строительного университета (Сибстрин), профессор кафедры автоматки НГТУ. Автор более 290 публикаций, 6 монографий, посвященных решению некорректных задач интерпретации данных и обработке сигналов и изображений и большого числа учебных пособий. E-mail: [voscob@mail.ru](mailto:voscob@mail.ru)

### Wavelet filtering with two parametric threshold functions: selection of the function and justification of optimal parameters

Y.E. Voskobojnikov

*Abstract:* This paper studies the optimization of wavelet filtering algorithms with two-parameter threshold functions. Optimization of wavelet filtering algorithm is performed in two directions: a) optimization by selecting of the best function of

the threshold used in practice functions; b) optimization by evaluating of the optimal parameters of the best threshold function.

*Key words:* estimation, wavelet transform, filtering

### REFERENCES

- [1] Fodor, I. K., Kamath C. Denoising through Wavelet Shrinkage: An Empirical Study. SPIE Journal on Electronic Imaging. 2003. vol. 12, N. 1, pp. 151-160.
- [2] Voskobojnikov Ju.E., Gochakov A.V. Ocenivaniya optimal'nyh porogovyh velichin v algoritmah vejvlet-fil'tracii izobrazhenij. Avtometrija. 2011. t. 47. №2. S. 3-12.
- [3] Voskobojnikov Ju.E., Gochakov A.V., Kolker A.B. Fil'tracii signalov i izobrazhenij: Fur'e i vejvlet algoritmy (s primerami v Mathcad) Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2010. 188 s.
- [4] Voskobojnikov Ju.E. Vejvlet-fil'tracii signalov i izobrazhenij (s primerami v Mathcad) Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2015. 196 s.
- [5] Voskobojnikov Ju.E., Gochakov A.V. Postroenie algoritmov vejvlet-fil'tracii s dvuhparametricheskimi porogovymi funkcijami. Avtometrija. 2012. t. 48. N 1. P. 17-29. Mallat S. A theory of multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1989. v.11. N 9. P. 674-693.
- [6] Gao H-Y, Bruce A.G. Waveshrink with firm shrinkage. Statistica Sinica. 1997. V. 7. P. 855-874.
- [7] Lin Y, Ma Y, Liu F, Zhang X. The research based on genetic algorithm of wave image denoising threshold of medicine. Journal of chemical and pharmaceutical research. 2014.

# Перспективы развития систем для мониторинга сейсродинамики скальных пород

*В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут, Л.В. Димитров*

Институт лазерной физики СО РАН, Россия; Сибирское отделение геофизической службы СО РАН, Россия; НГТУ, Россия; Технический университет Софии, Болгария

**Abstract:** Под действием гравитационных сил от Солнца и Луны на Земле происходят лунно-солнечные приливы и отливы не только океанической воды, но и грунта, и скальных пород. Эти колебания могут служить предвестниками землетрясений и иных сейсмических событий. До настоящего времени мониторинг таких колебаний не получил достаточно широкого распространения. Это не позволяет достаточно надежно предсказывать время и место предстоящих землетрясений или иных проявлений сейсмической активности Земли. Среди причин недостаточной распространенности этих устройств наряду с недостатком шахт для их установки, другая важная причина – это высокая стоимость и уникальность таких измерителей. Это снижает надежность их работы и не позволяет накопить достаточный статистический материал для научного прогнозирования. Указанные измерители используют лазерный интерферометрический метод измерения приращений плеч интерферометра. Газовые лазеры и высокочувствительные интерферометры крайне дороги, недостаточно надежны. Решение проблемы может основываться на использовании недорогих лазеров (например, полупроводниковых), экономичных оптических измерительных схем и высокоинтеллектуальных методов обработки сигналов, что позволит повысить надежность этих измерений и обеспечить производство сертифицированных серийных образцов для широкого применения. Предлагаемые методы позволяют снизить требования к оптической части устройств за счет более высокой сложности и расширения функциональности электронной и программной части этих устройств, что повысит их точность и надежность и снизит их цену. Поэтому предлагаемые рекомендации по дальнейшей модификации таких устройств, позволят расширить их применение и повысить надежность сейсмических прогнозов.

**Ключевые слова:** интерферометр, измерения перемещений, измерения вибраций, лазер

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Землетрясения уносят многие жизни и наносят огромный ущерб жителям Земли. Последствия землетрясений были бы намного меньше, если бы можно было точно предсказать их время и место. Чем точнее и чем раньше сделан такой прогноз, тем успешнее можно предотвратить последствия землетрясений.

Один из эффективных методов прогнозирования землетрясений основан на регистрации с помощью лазерных измерителей сверхмалых периодических деформаций скальных пород под действием лунно-солнечных приливно-отливных сил [1–4].

Как известно, гравитационные силы зависят от расстояния до центра масс объекта, порождающего эти силы. Вследствие больших размеров Земли расстояние каждой точки её поверхности до Солнца, и в особенности до Луны, немного отличаются. Этого достаточно для того, чтобы возник градиент гравитационных сил, который заставляет перемещаться не только океаническую воду, но также и скальные породы. В зонах сейсмической активности соединяются тектонические плиты. Даже крайне малые движения тектонических плит под действием лунно-солнечных сил гравитации могут быть измерены с помощью сверхчувствительной лазерной измерительной системы. Если движение плит происходит плавно, то отдельные колебания краев этих плит происходят приблизительно с постоянной амплитудой. Если же одна плита зацепилась за другую, то амплитуда колебаний может хаотически изменяться. Если такая сцепка достаточно сильна, то вследствие движения плит напряжение на их краях растет до тех пор, пока сцепка не разрушится под действием этого возросшего напряжения. В момент разрушения этой сцепки происходит землетрясение. Поэтому непрерывная регистрация таких колебаний потенциально дает возможность предсказания землетрясений, а достаточная статистика позволила бы предсказать и время, и место предстоящих землетрясений.

Такова теория, на основе которой созданы и используются лазерные регистраторы деформаций.

На практике ситуация намного сложнее.

Каждый отдельный регистратор может зарегистрировать относительные изменения расстояний в скальных породах в одном из выбранных направлений относительно расстояний в ортогональном направлении. Возможно, это не самый лучший вариант, и

нельзя исключать, что выбранные направления не являются наиболее показательными. Например, можно было бы регистрировать относительные изменения длин не в двух взаимно ортогональных направлениях, а в четырех направлениях, то есть два других направления задаются биссектрисами углов между двумя исходными направлениями регистрации. По всей видимости, целесообразно было бы регистрировать и деформацию в вертикальном направлении, что в настоящий момент не делается в связи с отсутствием технических решений. При этом измеряются лишь относительные деформации (перемещения), регистрация абсолютных величин перемещений также не ведется в связи с отсутствием технических решений.

Известные методы регистрации основаны на использовании традиционных газовых лазеров и на применении схемы интерферометра Майкельсона. В качестве оптических датчиков используются обычные фотоприемники, реагирующие на суммарное количество света, попавшее на их чувствительную поверхность, хотя в настоящее время разработаны и широко используются в других целях фотокамеры и видеокамеры, которые способны воспринимать не только общую величину попавшего света, но и получать двухмерные изображения, по которым можно распознавать интерференционные полосы. При использовании соответствующих оптических схем это может позволить либо резко повысить точность измерения, либо увеличить помехозащищенность этих измерений, то есть получить возможность восстановления информации при характерных случайных кратковременных выпадениях сигнала.

Недостаточность статистических данных связана с уникальностью применяемого для этих измерений оборудования. Это оборудование крайне сложное, дорогое, зачастую не сертифицировано, поскольку является набором экспериментальных образцов. Серийное изготовление такого оборудования требует предварительного решения ряда задач, что делало бы это оборудование более надежным, дешевым и легко ремонтируемым, а также легко заменяемым. С этой целью необходим отказ от неудачных технических решений, поиск изящных, то есть простых и надежных схем получения оптического сигнала, его регистрации и обработки. По-видимому, датчики на основе газовых лазеров не имеют будущего, поскольку эти лазеры являются чрезвычайно сложными оптико-механическими и электронно-оптическими изделиями, требующими множества операций при их изготовлении, а также требующие регламентных работ при их эксплуатации. Перспективные твердотельные лазеры, в частности, полупроводниковые лазеры, в

настоящее время не применяются в таких установках вследствие их относительно небольшой частотной стабильности (при отсутствии специальных схем стабилизации частоты). Большинство известных схем стабилизации частоты основаны на пробных девиациях. Поэтому в таких системах при высокой долговременной стабильности частоты кратковременная стабильность частоты, как правило, намного хуже, чем в лазерах без стабилизации частоты. Такие системы не пригодны для фазовых измерений, которые производятся в лазерных измерителях деформации. Известны схемы стабилизации частоты без существенных частотных девиаций, например, [5], однако, такие схемы пока не получили широкого распространения вследствие отсутствия финансирования на эти исследования.

Поэтому существенное развитие методов и средств предсказания землетрясений на основе непрерывной многоточечной статистики требует решения указанных задач, направленных на повышение точности и надежности этих измерителей и снижение их стоимости.

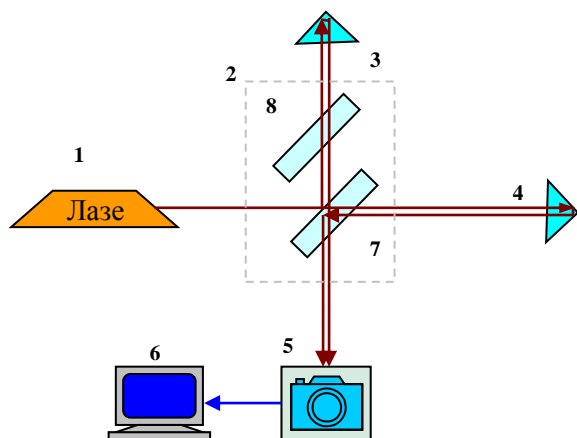
## **II. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕГИСТРАТОРА**

Прежде всего, следует оговорить, что именно измеряет устройство. Предположительно, прибор закреплен на некоторой оптической скамье, которая жестко связана со скальной породой. Прибор измеряет разницу расстояний по двум взаимно ортогональным направлениям. Эти расстояния отсчитываются от базы прибора до угловых отражателей, установленных на пьедесталах, жестко закрепленных на скальных породах. Поэтому часть информации теряется: прибор не позволяет различить причину приращения фазы. Например, положительное приращение разницы пути может означать как увеличение длины первого плеча, так и уменьшение длины второго плеча, а может означать оба эти факта, а также, например, увеличение длины обоих плеч при условии, что первое плечо увеличилось больше, или уменьшение длины обоих плеч при условии, что второе плечо уменьшилось меньше. Намного полезнее было бы знать приращение длины каждого из плеч в отдельности по отношению к некоторой неизменной базовой длине. Распространенность указанной схемы измерений, по-видимому, определяется её относительной простотой в том аспекте, что в такой схеме меньше фотоприемников и меньше электронных трактов обработки сигналов. Действительно, в самом простейшем варианте для детектирования приращения разницы оптической длины достаточно использование единственного фотоприемника, как показано на *Рис. 1* на



примере использования интерферометра Майкельсона [7].

На этом *Рис. 1* источником света является лазер 1, оптическая схема 2 содержит светоделительную пластину 7 и пластину 8 для компенсации влияния этой пластины во втором пучке света. Также устройство содержит два уголкового отражателя 3 и 4, фотоприемник 5 и устройство обработки сигнала 6.



*Рис. 1.* Упрощенная оптическая схема лазерного датчика сверхмалых перемещений и вибраций: 1 – лазер, 2 – оптическая схема, 3, 4 – уголкового отражатели, 5 – фотоприемник, 6 – устройства сбора и обработки данных (компьютер), 7 – светоделительная пластина, 8 – компенсационная пластина

На первой поверхности пластины 7 луч разделяется на два пучка. Первый пучок идет к отражателю 3 и обратно, второй пучок идет к отражателю 4 и обратно. Поскольку второй пучок дважды проходит сквозь пластину 7, его оптический путь при равенстве длин плеч интерферометра отличался бы от оптической длины второго плеча, если бы не была введена компенсационная пластина 8. За счет пластины 8 оптическую длину обоих плеч можно сделать в точности одинаковой. По задумке Майкельсона такой интерферометр дает интерференционную картину даже если используется не когерентный источник света. В такой схеме при строго нулевой разности фаз свет на фотоприемнике складывается синфазно (для любых частот). При небольшом рассогласовании длин плеч совпадение фаз нарушится, вместо полного сложения интенсивностей будет сложение синусоид с различными фазами. Например, если сдвиг фаз достигнет 180 градусов, то свет от одного плеча будет полностью гасить свет от другого плеча, то есть интенсивность свет на фотоприемнике будет минимальной. Следовательно, интенсивность света в интерферометре изменяется пропорционально разности фаз, что

при малом значении угла можно считать приблизительно линейной зависимостью интенсивности от приращения расстояния.

Даже при такой схеме с нулевой разностью хода желателен узкополосный источник света, поскольку для разных частот будет иметь место разный коэффициент пропорциональности между приращением фазы и приращением длины пути света. Применение лазера решает эту задачу кардинально, поскольку ширина полосы излучения в  $10^{10}$  и более раз меньше, чем само значение частоты излучения. Относительная нестабильность частоты не более  $10^9$  для наименее стабильного лазера, то есть для нестабилизированного полупроводникового многомодового лазера. Современные средства стабилизации частоты позволяют относительно просто снизить нестабильность частоты до величин менее  $10^{-13}$  (на интервале 1000 секунд и более).

### III. ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЯ

Схема по *Рис. 1* не используется на практике по многим причинам. Прежде всего, она не позволяет определить знак приращения разности длин: положительное и отрицательное приращение даст один и тот же результат. Кроме того, измерения низкочастотных оптических сигналов сложны и ненадежны. Предпочтительно измерять высокочастотные сигналы, что позволяет устранить шумы засветки, влияние дрейфа темнового тока фотоприемников, упростить фильтрацию и решить некоторые другие проблемы формирования и обработки сигналов.

Для получения сигнала на высокой частоте достаточно в одно из плеч интерферометра ввести, например, частотный сдвиг. В используемых в настоящее время измерительных системах частотный сдвиг вносится путем применения двух лазеров совместно с системой частотно-фазовой автоподстройки. Упрощенная схема такой системы показана на *Рис. 2*. При этом компенсационная пластина 8 становится ненужной. Кроме того, в схеме имеется два источника света, поэтому светоделительная пластина 7 также становится не нужной. Зато требуется две светоделительные пластины на выходе каждого из лазеров для ответвления части излучения в систему фазовой автоподстройки частоты. При этом может использоваться лишь малая часть излучения, например, 10%, тогда как светоделительная пластина 7 в установке по *Рис. 1* должна делить пучок света примерно на равные части.

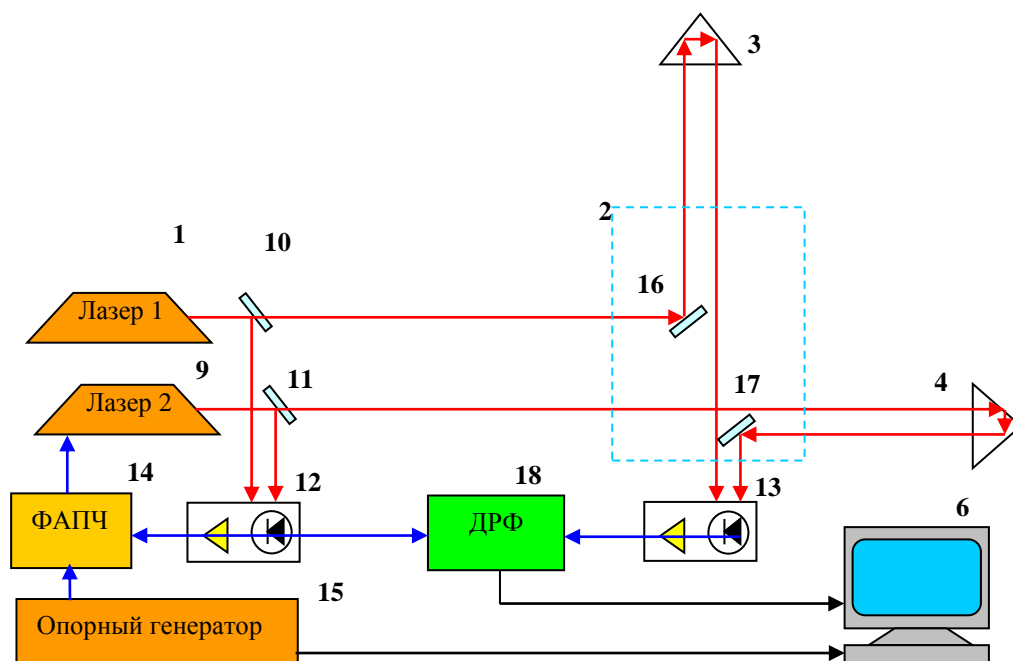


Рис. 2. Упрощенная оптическая схема регистрационной установки на основе двух лазеров с привязкой частоты с точностью до фазы: 1 – лазер, 2 – оптическая схема, 3, 4 – уголкового отражатели, 6 – устройство сбора и обработки данных, 9 – второй лазер, 10, 11 – светоделительные пластины, 12, 13 – фотоприемник, 14 – система фазовой автоподстройки частоты, 15 – опорный генератор, 16, 17 – зеркала, 18 – детектор разности фаз

Система частотно-фазовой автоподстройки (ФАПЧ) в структуре по Рис. 2 обеспечивает привязку частоты излучения второго лазера к частоте излучения первого лазера с заданной разностью частот. С этой целью часть излучения от обоих лазеров совмещается на фотоприемнике, где формируется сигнал разностной частоты. Этот сигнал поступает на систему ФАПЧ, где эта частота сравнивается с частотой опорного генератора. Сигнал разности фаз поступает на модулятор частоты второго лазера через регулятор и усилитель. Модулятор, принцип действия которого основан на пьезоэлектрическом эффекте, изменяет оптическую длину резонатора второго лазера. Это заставляет изменяться частоту излучения этого лазера. Направление изменения частоты излучения второго лазера таково, чтобы снизить разность фаз между сигналом с выхода фотоприемника и сигналом опорного генератора. Таким образом, разность частот излучения первого и второго лазеров с точностью до фазы повторяет частоту опорного генератора.

В этой схеме по Рис. 2, очевидно, все расстояния играют роль. На результат измерения скажется расстояние между лазерами, расстояние между любыми двумя оптическими элементами, расстояние между светоделительными пластинами и фотоприемником, и так далее. Приращение каждого такого расстояния даст свой вклад в

результат измерения. Даже длина кабеля от фотоприемника к детектору фазовых приращений также даст свой вклад в результат измерения.

Поэтому такую схему едва ли можно назвать целесообразной.

Следует определить все источники погрешности и рассмотреть мероприятия (схемотехнические решения) для снижения вклада каждого из источников.

В процессе измерения осуществляются следующие операции;

1. Преобразование перемещения в изменение оптического пути схемы.
2. Преобразование оптического пути в соответствующее количество длин волн.
3. Преобразование изменения количества длин волн, укладываемых на оптическом пути, в приращение оптического сигнала.
4. Преобразование оптического сигнала в электрический.
5. Обработка электрического сигнала.
6. Обработка результата обработки (вторичная обработка данных).
7. Вычисление разности результата измерений по различным каналам (плечам).
8. Кодирование сигнала и передача его для последующей обработки и интерпретации результата измерения.

Каждое из этих действий может вносить искажение в итоговый результат распознавания и трактовки предвестников землетрясений.

Поэтому каждое из этих действий следует анализировать и оптимизировать. Порядок действия может изменяться, например, может сначала получаться дифференциальный сигнал, несущий информацию не о длине как таковой, а о разности длин, или о приращении разности длин.

#### **IV. О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДВУХ ЛАЗЕРОВ**

Во всех практических схемах в качестве источника света используется не один лазер, а два, то есть используется система по Рис. 2, а не по Рис. 3 или 4.

Причиной такого технического решения является, во-первых, стремление к увеличению мощности излучения, во-вторых, сомнительное стремление к упрощению оптической и электрической частей устройства, в-третьих, традиции.

В отношении мощности излучения можно отметить, что две различные измерительные системы использовались в двух различных измерительных экспериментах, но идеология двух систем была одинаковой. Первый эксперимент проводился в закрытой шахте на базовых расстояниях не более 100 м, а второй осуществлялся на открытом воздухе на расстояниях от 1,5 до 2 км. Только во втором случае мощность излучения может быть существенной, в первом случае она достаточна, и поэтому вполне мог использоваться только один лазер. Именно первый вариант схемы используется для постоянного мониторинга, а второй случай нехарактерен, он использовался лишь с целью определения потенциальных возможностей метода, и для круглогодичного мониторинга этот эксперимент несущественен. Поэтому аргумент в пользу большей мощности отпадает. При использовании мощных лазеров именно этот выбор задал выбор фотоприемников, который, в свою очередь, задал выбор разностной частоты. Вследствие этого выбора непригодной стала схема с акустооптическим модулятором. Вследствие этого выбора вся электронная часть была разработана и сделана под эту схему, поэтому любая другая оптическая схема измерения потребовала бы разработки новой электронной схемы, и, соответственно, новой программно-аппаратной части системы. Для руководителя этой тематикой отсутствие необходимости разработки программно-аппаратной системы по новой идеологии казалось существенным упрощением дальнейших экспериментов. С позиции специалистов по программно-аппаратным средствам электронной и вычислительной техники такое мнение следует признать ошибочным. Наиболее сложная часть измерительной системы, и наиболее

ответственная – это именно часть, относящаяся к оптическому датчику, если имеется хотя бы малейшая возможность уменьшения погрешности за счет устранения каких-либо ее источников или снижения их вклада, это непременно следует сделать. Усложнение электронной техники для обработки сигнала не является проблемой, тем более при тиражировании системы, когда прототип полностью отлажен на стадии НИР и ОКР.

Поэтому для стационарного измерителя, размещаемого внутри шахты, следует осуществить непредвзятый выбор оптической схемы, на основании обоснованных технических требований и корректно сопоставленных технических возможностей всех вариантов. В этом случае схема на основе единственного лазера видится предпочтительной.

При использовании двух лазеров необходима система фазовой стабилизации второго лазера, которая обеспечит привязку его частоты с точностью до фазы к частоте первого лазера. Эта система должна содержать два светоделительных устройства, дополнительный фотоприемник, систему автоподстройки (как правило, двухканальную с использованием быстрого и медленного контуров стабилизации). Требования к точности и к ширине полосы этой системы крайне высоки, что делает эту систему очень сложной и недостаточно надежной. Кроме того, система фазовой привязки не способна подавить высокочастотные девиации частоты, а также может порождать неконтролируемые броски фазы вследствие срыва слежения при больших механических или акустических помехах. Поэтому от такого решения целесообразно отказаться.

#### **V. ВОЗМОЖНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РЕГИСТРАТОРА**

Прежде всего, по возможности следует уменьшить количество факторов, влияющих на точность измерения. В частности, точность работы системы фазовой автоподстройки частоты второго лазера напрямую влияет на точность работы всей системы в целом. Указанная система всегда имеет динамическую ошибку, по высокочастотным флуктуациям изменения частоты первого лазера и изменения частоты второго лазера могут существенно отличаться, то есть высокочастотная часть их спектров излучения не совпадает.

Можно предложить, например, с целью получения двух излучений с заданным сдвигом частот использовать акустооптический модулятор. Возможный вид измерительной системы по этому принципу в упрощенном виде показан на Рис. 3. В этой схеме также не нужна компенсационная пластина и светоделительная

устройство.

Для питания акустооптического модулятора 19 (АОМ) применяется последовательно включенные генератор 15 и усилитель мощности 20. Оптическая схема 2 не должна разделять пучки надвое. Вместо этого она должна каждый из пучков направлять к своему отражателю, а отраженный пучок направлять на общий фотоприемник 13, который в данном случае настроен на прием высокочастотного сигнала, несущая частота которого равна частоте генерации сигнала с выхода генератора 15. Детектор фазовых приращений 18 должен вычислять приращения фазы принятого фотоприемником сигнала относительно фазы исходного сигнала от генератора 15. Эти приращения несут информацию о приращении разности длины оптических путей двух плеч, с учетом знака приращения. Далее результат поступает на устройство обработки сигнала для

дальнейшей обработки, кодирования и архивирования и (или) передачи на средства вторичной обработки данных.

Математические соотношения, связывающие приращение фазы с приращением разности длин оптических путей тривиальны и легко выводятся, поэтому их можно опустить. Для качественной работы данной схемы требуется относительно высокая стабильность частоты излучения лазера, как и высокая точность формирования частоты генератора 15. Также требуется жесткое закрепление всех элементов оптической схемы, в особенности, элементов 1, 19, 3, 4, 16, 17 и 18.

Теоретически перемещение лазера относительно АОМ не должно сказываться на результате измерения, но на практике лазер также крайне желательно закреплять неподвижно и на фиксированном расстоянии относительно других элементов.

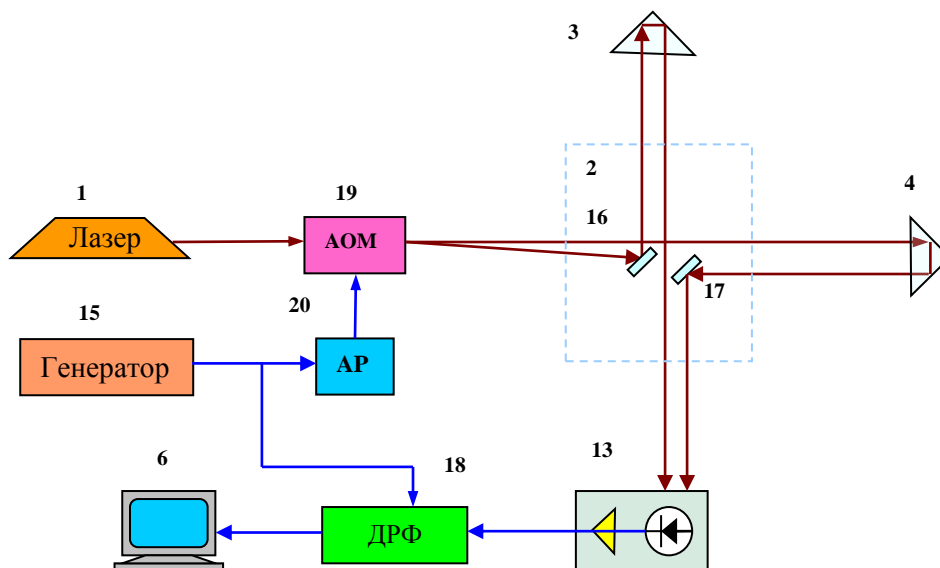


Рис. 3. Упрощенная оптическая схема устройства с АОМ: 1 – лазер, 19 – АОМ, 2 – оптическая часть, 3 и 4 – отражатели, 15 – генератор, 20 – усилитель мощности, 13 – фотодетектор, 18 – детектор разности фаз, 6 – компьютер

Перемещения элементов 3 и 4 определяются движением скальных пород, поскольку эти элементы должны быть прикреплены к соответствующим опорным точкам этой породы.

В работе [6] приводятся расчеты для погрешности измерений в этой схеме. Показано, что на точность оказывают существенное влияние точность формирования частоты излучения лазера, стабильность коэффициента преломления воздуха и некоторые другие факторы. Там же предложена альтернативная схема измерения, основанная на использовании двух пучков света в каждом из плеч интерферометра, как показано на Рис. 4.

В этой схеме получаемые на выходе акустооптического модулятора два пучка света,

имеющие между собой сдвиг частоты, используются каждый в каждом из плеч интерферометра. Например, черным цветом показан пучок света, не имеющий частотного смещения, а красным цветом показан пучок, имеющий смещения частоты. Пучок без смещения может поступать на светоделительную пластину, как в схеме по Рис. 1, после чего делиться надвое. Полученные два пучка могут поступать на оба плеча интерферометра. По аналогичным траекториям, но не совпадающим с траекториями первого пучка, могут распространяться пучки света от второго пучка, имеющего частотное смещение. Это можно реализовать, поскольку площадь зеркал и светоделительных пластин намного больше, чем

диаметр пучка света, а получаемые на выходе акустооптического модулятора пучки пространственно разделены. Далее достаточно пучок от луча без смещения, прошедшего по первому плечу, совместить с пучком от луча со смещением, прошедшего по второму плечу, направив их на первый фотоприемник. Также следует пучок без смещения, прошедший по второму плечу совместить с пучком со смещением, прошедшим по второму плечу, и направить их на второй фотоприемник. На

каждом из приемников получим сигнал приращения разности длин плеч интерферометра. Если эти две разности сложить, то такие факторы, снижающие точность результата измерения, как нестабильность частоты лазера, нестабильность частоты генератора и нестабильность коэффициента преломления воздуха, предположительно скомпенсируют друг друга, поскольку вклад любого из этих явлений в получаемый результат будет противоположный, и при сложении компенсируется.

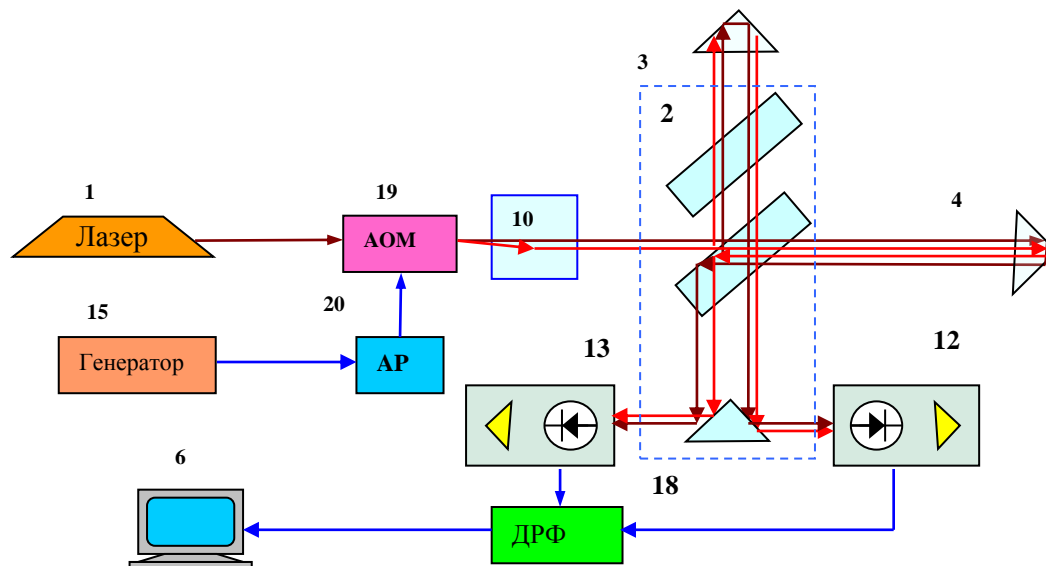


Рис. 4. Упрощенная оптическая схема лаичика сверхмалых перемещений и вибраций с двумя дифференциальными каналами: 1 – лазер, 2 – оптическая схема, 3, 4 – уголкового отражатели, 6 – устройство сбора и обработки данных, 10 – формирователь параллельных пучков, 12,13 – фотоприемники, 15 – опорный генератор, 18 – детектор разностей фаз, 19 – акустооптический модулятор, 20 – усилитель мощности

Недостаток этой схемы состоит в том, что по одному и тому же пути (или по близким оптическим путям) предполагается направлять два световых пучка (на схемах они показаны, соответственно, черным и красным цветом).

Этот недостаток можно преодолеть путем достаточного разнесения этих пучков в пространстве, например, за счет использования достаточно широких уголкового отражателей при использовании достаточно узких оптических пучков. Кроме того, этот недостаток может быть преодолен, если использовать оптические пути расположить один над другим, что затруднительно изобразить в плоской схеме устройства, но не представляет труда при реализации в трехмерном пространстве.

Например, первый луч на выходе акустооптического модулятора (обыкновенный), не имеющий смещения частоты, направим в оптическую схему по траектории, продолжающейся без отклонений, то есть вдоль оси излучения лазера. Второй луч на выходе акустооптического модулятора, имеющий смещение частоты (необыкновенный), направим сначала вниз, а затем за счет зеркала изменим его направление так, чтобы он шел параллельно

первому лучу, но ниже, например, на величину смещения  $D$ . Далее организуем обычную схему интерферометра, как показано на Рис. 1. При этом уголкового отражатель 3 развернем на  $90^\circ$ , а уголкового отражатель 4 оставим в исходной ориентации. При этом можно сделать так, например, чтобы нижний луч от интерферометра заходил в уголкового отражатель на уровне, который ниже плоскости симметрии отражателя на  $0,5 D$ , а верхний луч заходил в этот отражатель на эту же величину выше плоскости симметрии. Тогда нижний луч после отражения пойдет по пути, который пролегает выше исходного пути на  $D$ , а верхний луч после отражения пойдет по пути, который на эту величину ниже исходного положения пути этого луча. Вместо фотоприемника 5 установим два фотоприемника, расположенные один над другим на расстоянии  $D$  между их центрами. Таким образом, верхний пучок, не имеющий частотного сдвига, располагающийся выше, после отражения от отражателя 3 пойдет по нижней части оптической схемы и на попадет на нижний фотоприемник. Нижний пучок, имеющий частотное смещение, после отражения от отражателя 3, пойдет обратно по пути верхнего пучка света и поступит на

верхний фотоприемник. Во втором плече изменение высоты пучков не будет иметь места, верхний пучок без смещения частоты вернется по верхнему пути и поступит на нижний фотоприемник, а нижний пучок со смещением частоты вернется по нижнему пути и поступит на верхний фотоприемник. Таким образом, в оптической схеме будут сформированы два разностных сигнала. Один из них соответствует результату накопленной разности фаз света по первому плечу без смещения частоты и по второму плечу со смещением частоты, второй соответствует противоположной ситуации. Если плечи одинаковые, то разностная частота в обоих случаях будет изменяться одинаково, и сигнал разности фаз будет нести информацию о стационарности ситуации. Если же возникнет разница длин плеч, то разница фаз принимаемых сигналов будет пропорциональна удвоенному значению этого приращения.

Эту схему можно модифицировать, например, используя в каждом плече два оптических отражателя. В этом случае можно получить не только два различных сигнала, но даже и четыре сигнала, соответствующие всем возможным комбинациям интерферометрических схем.

Может показаться странным, что рекомендуется получение статического сигнала без смещения, как в схеме по Рис. 1. Однако следует учесть, что со времени Майкельсона и его первых опытов технический прогресс дал множество принципиально новых средств регистрации оптических сигналов, прежде всего – видеокамеру. Если свет от двух пучков попадает на фотоприемник параллельно, то сложение этих пучков является результатом сложения двух плоских фронтов, то есть результат может быть одним равномерным уровнем засветки, величина которой зависит от соотношения фаз. Этот сигнал недостаточно информативен, поэтому используется сдвиг частот, чтобы результат представлял собой интенсивность, модулированную во времени по гармоническому закону. Если же пучки света попадают на плоскость фотоприемника под некоторым углом, то результатом будет полосатая структура, называемая интерферометрической картиной (интерферометрические полосы). Видеокамера может регистрировать эту картину с заданной частотой опроса, после обработки зарегистрированной информации можно детектировать перемещение этих полос, также, как и определять направление их перемещения и вычислять величину этого перемещения, что даст возможность определения смещения положения отражателей. Если, например, видеокамера передает изображение с частотой 30 кадров в секунду, и при этом между последующими кадрами перемещение полос не превышает четверти расстояния между ними, то можно

достаточно надежно и без выпадения сигнала восстановить всю картину перемещения этих полос, а значит и всю картину изменения измеряемой разницы расстояний. Чувствительность такой схемы регистрации будет определяться числом пикселей, приходящихся на один период интерференционной картины, но и эта величина может быть улучшена за счет статистического усреднения (фильтрации). При этом ширину полос за счет выбора угла между пучками света можно сделать такой, чтобы, например, в апертуре камеры укладывалось не более двух полос, что даст примерно 2000 пикселей на полосу, если, например, камера имеет 4000 пикселей на ширину экрана.

Таким образом, применение видеокамеры в обсуждаемых устройствах открывает большие перспективы для повышения точности и надежности измерений, при этом удорожание устройства незначительно, вследствие незначительной цены видеокамеры в сравнении с другими дорогостоящими элементами оптической схемы (например, лазер, высококачественные отражатели, зеркала и другие оптические и механические элементы).

## VI. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАТОРОВ

В работе [8] указана предельная чувствительность измерителя деформаций на уровне  $S = \lambda/4096$  мкм (при длине волны излучения  $\lambda = 0,6328$  мкм), то есть порядка  $S = 0,015$  нм. Термин «чувствительность» в данном контексте следует трактовать как «порог нечувствительности», то есть система не чувствует изменения менее указанной величины  $S$ . Там же сказано, что обеспечиваются измерения с относительной погрешностью в пределах  $\delta = \Delta L/L = 2 \cdot 10^{-9}$ . Очевидно, что величина погрешности может многократно превышать величину  $S$ . Эти величины могут совпадать в указанных терминах только при измерении на расстоянии  $L_0 = 1$  см, чего, разумеется, в системе нет. В измерительной системе величина плеч интерферометра никак не может быть менее  $L_1 = 1$  м, на практике она составляет  $L_2 = 100$  м, а в натуральных испытаниях эта величина более  $L_3 = 1$  км. Это дает погрешность системы, соответственно, на уровне  $\Delta L = \Delta L$ , то есть на расстоянии  $L_1 = 1$  м это дает  $\delta_1 = 2$  нм, а на расстояниях  $L_2$  и  $L_3$ , соответственно,  $\delta_2 = 0,2$  мкм и  $\delta_3 = 2$  мкм. В этой связи возникает вопрос о целесообразности построения измерительных схем с большой базой измерения, или, если большая база необходима, крайне актуальной задачей становится создание методов и средств измерения приращений длины на указанных базах со снижением погрешности до требуемых малых величин. Если же указанная задача не решена, но устройства подобного типа с подобными

характеристиками используются для регистрации приращений движений скальных пород в динамике. То есть динамика таких движений детектируется намного более достоверно, чем полученная величина (в статике), то есть факт движения скальной породы детектируется более достоверно, чем факт достоверного измерения приращения расстояния от измерителя до уголкового отражателя. То есть измеритель регистрирует достоверно лишь периодическое приближение и удаление отражателя, но не дает достоверных сведений о приближении или удалении отражателя в среднем, а также не позволяет измерить расстояние как таковое. Эта ситуация плохо согласуется с принципами измерения перемещений лазерными методами.

Среди наиболее часто обсуждаемых причин недостаточной точности можно выделить следующие: а) недостаточную точность формирования частоты лазерного излучения; б) недостаточную точность формирования разностной частоты от опорного генератора; в) недостаточную стабильность коэффициента преломления в воздухе (и, соответственно, скорость света в воздухе, и, следовательно, зависимость оптической длины пути от истинного расстояния); д) недостаточную точность системы измерения разности фаз.

В отношении точности измерения разности фаз можно утверждать, что эта проблема решена окончательно. Измерения разности фаз парных высокочастотных сигналов могут быть осуществлены с погрешностью на уровне 0,0025 % от периода без особых сложностей, а при использовании специальных методов, например, [8] эта величина может быть снижена до 0,001 % в полосе частот около 6 кГц, что при осреднении позволяет снизить эту погрешность еще в 10-100 раз. Эти погрешности намного ниже, чем требуется от измерительной системы.

В некоторых случаях схема может быть построена таким образом, что собственная частота излучения лазера также не войдет в результат измерения.

Частота опорного генератора может быть стабилизирована с погрешностью на уровне  $10^{-9}$  относительно просто. Приблизительно в 10 раз эта погрешность может быть снижена за счет не слишком сложных мер (термостабилизация кварцевого опорного резонатора и т.п.). Доступны микрочипы генераторов и с более высокой точностью. Хотя в интернет-сети появляются сообщения о разработках генераторов частоты с точностью на уровне  $10^{-18}$ , это, по всей вероятности, не соответствует фактической погрешности стабилизации, поскольку в данном случае речь идет о нестабильности параметра Алана, что является статистической характеристикой, описывающей лишь уход частоты относительно собственного значения, но

никак не зависящий от фактической погрешности ее формирования. И все же можно утверждать, что стабильность частоты на уровне погрешности не более  $10^{-13}$ - $10^{-14}$  может быть достигнута без недопустимо сложного технического решения, хотя и с существенным усложнением системы в целом. На основе изложенного можно предложить взять за основу погрешность  $10^{-11}$  как наиболее обоснованную величину для будущих серийно производимых лазерных измерительных устройств указанного типа. В случае относительно стабильного коэффициента преломления в среде это позволило бы уверенно измерять приращения длин в оптических плечах интерферометров с погрешностью на уровне этой величины, то есть  $10^{-11}$ . Например, на базовой длине 100 м это дало бы погрешность не более 1 нм. Здесь речь идет именно о погрешности, а не о чувствительности метода, которая может быть намного выше.

Таким образом, основной проблемой измерителя является компенсация вклада изменений показателя преломления в воздухе, поскольку обеспечить вакуум на плече длиной в 100 м не представляется возможным.

Схемы стабилизации можно разделить на пассивную и активную. Пассивной стабилизацией в данном случае можно было бы назвать поддержание постоянной температуры, давления, влажности и состава воздуха в измерительной шахте. В какой-то степени это осуществляется. Тем не менее сезонные и суточные колебания температуры, влажности, давления имеют место и полностью исключены быть не могут.

В измерительной установке используется блок компенсации влияния атмосферы. Принцип действия этого блока состоит в том, что одним из измерительных каналов системы измеряется приращение длины эталонного плеча, образованного эталоном длины. Оптический измерительный луч света проходит расстояние, заданное этим эталоном длины, столько раз, сколько необходимо для того, чтобы общее расстояние стало равным длине измерительных плеч интерферометра. Устройство не измеряет эту длину как таковую, а лишь дает сигнал приращения длины. В предположении, что длина эталона не изменяется в ходе измерений, можно считать, что результат приращений сигнала, который можно было бы трактовать как приращение длины, на самом деле порожден приращением оптического пути вследствие изменения оптического пути в воздухе, то есть вследствие изменения состава воздуха или его показателей (давления, температуры, влажности).

Здесь возникает вопрос, который ранее не поднимался. Вопрос состоит в том, что можно считать более стабильным – длину эталона, или оптическую длину пути, которая складывается из стабильности длины волны излучения (или длины

волны для разностной частоты, которая распространяется в плече со скоростью света). Предположим, что эталон длины изготовлен из инвара [9–11]. Этот сплав обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения в интервале температур от  $-100$  до  $+100$  °С. Его коэффициент теплового расширения составляет около  $1,2 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Очень чистый сплав (с содержанием кобальта менее 0,1 %) имеет вдвое меньший коэффициент линейного расширения. Если температура в шахте стабильна в пределах 1°С, то применение эталона длины сразу же ограничивает погрешность измерения длины этим способом до величины не менее  $10^{-6}$ , то есть на 100 м это дает 100 мкм. Даже если осуществить стабилизацию температуры эталона длины с погрешностью на уровне 0,01°С, погрешность измерения в лучшем случае будет снижена до значения 1 мкм, что недостаточно. Такой стабилизации в реальных системах нет. Следует также учесть, что на эталон длины действуют нагрузки (так как инвар не может использоваться в свободном состоянии, а может лишь быть частью несущей конструкции, на которой закреплены отражающие зеркала), так что приведенная оценка погрешности дает оптимистический результат для нижней границы погрешности, на самом деле она может быть в 10 и более раз выше. На этом основании можно усомниться в целесообразности использования блока компенсации влияния атмосферы с эталонным плечом. Отметим, что в фактической установке этот блок присутствует, как показано на Рис. 5 (отмечено синей стрелкой) [12, 13].



Рис. 6. Двухканальный лазерный измеритель деформаций на сейсмостанции «Талгар» (Алма-Ата), синей стрелкой показан блок компенсации влияния атмосферы

Для ясности дальнейшего изложения приводить схему с опорным пучком нет необходимости. По сути, такой схемой может служить любая из приведенных выше схем, где один канал – измерительный, а второй канал – опорный.

На основании осуществленных расчетов

можно было бы предположить, что в данной статье утверждается, что схема компенсации атмосферы не может быть эффективным решением задачи, и поэтому она не нужна. На самом деле это не вполне так. Можно лишь утверждать, что не нужна вследствие неэффективности схема компенсации атмосферы, в которой в качестве вторичного эталона длины используется некоторая механическая структура, например, из инварового стержня. Отметим, что механическая структура – не единственный и не самый лучший эталон длины. Действительно, если, как ранее было установлено, нестабильность частоты лазерного излучения легко может быть снижена до величин  $10^{-13}$  –  $10^{-14}$  и ниже, а рекордно эта величина может составить  $10^{-16}$  и даже  $10^{-18}$ , то нелогично в качестве эталона длины использовать механическую конструкцию. Первичным эталоном длины признан эталон, который определен через эталон частоты и скорость света. Поэтому можно предположить, что длина, которая определена заданным количеством длин волн оптического излучения в вакууме, имеет более высокую стабильность (точность, воспроизводимость), чем длина, заданная механической конструкцией из любого сколь угодно стабильного материала. Следовательно, для формирования надежного опорного источника длины необходимо использовать дополнительный специально изготовленный интерферометрический эталон длины, находящийся в вакууме.

## VII. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ

Следует учесть, что назначение эталона длины состоит не столько в формировании некоторой образцовой меры, сколько в осуществлении возможности компенсации влияния атмосферы на результат измерения.

В этом случае идея измерителя может быть, например, следующей.

1. Наиболее стабильный лазерный излучатель (возможно, не слишком большой мощности) должен использоваться для измерения приращения длины, например, инварового стержня, на концах которого закреплены отражающие зеркала. При этом вовсе не обязательно использовать многопроходную схему. Весь оптический путь этого датчика должен находиться в вакууме.

2. Другой лазерный излучатель должен использоваться для измерения той же самой по оптическому пути, который проходит не в вакууме, а в атмосфере, характерной для всей измерительной установки.

3. Частота второго лазера должна подстраиваться так, чтобы результат измерения расстояния между зеркалами в воздухе совпадал с



результатом измерения расстояния в вакууме на основе первого лазера в качестве опорного.

Как модификация этого метода, можно

рассмотреть вариант с единственным лазером, в котором второму пучку придается частотный сдвиг, частота которого может изменяться.

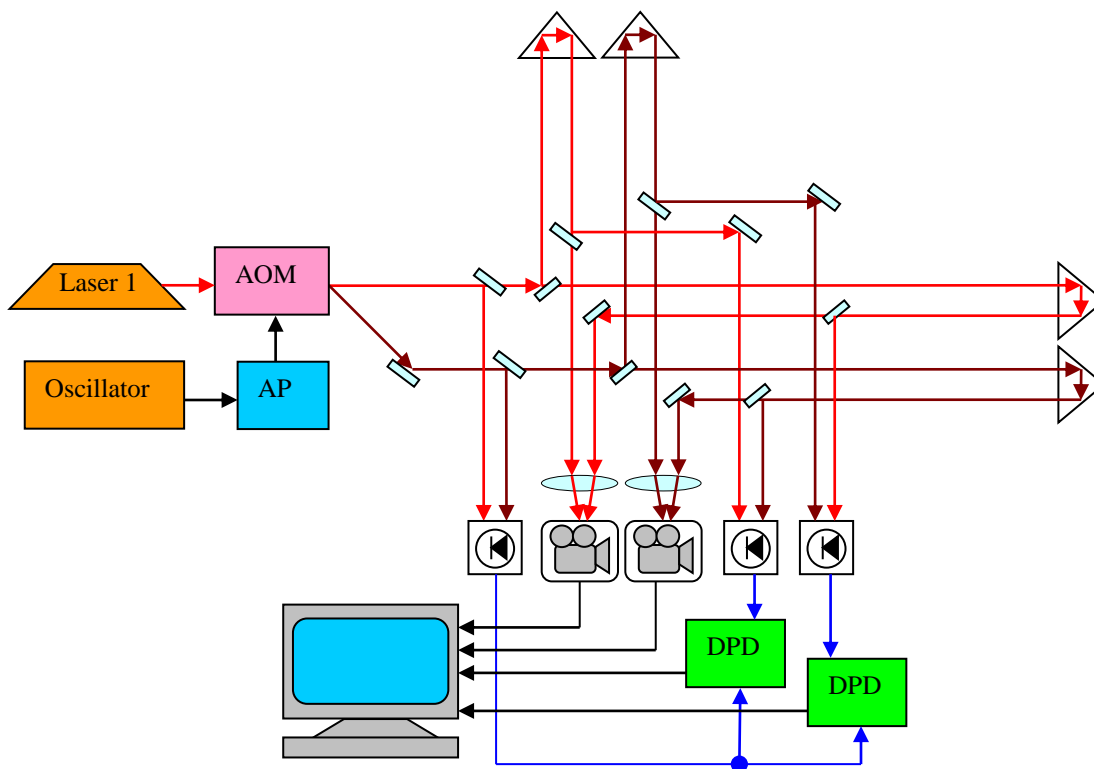


Рис. 5. Упрощенная оптическая схема регистрационной установки на основе двух лазеров с привязкой частоты с точностью до фазы

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Багаев С.Н., Орлов В.А., Фомин Ю.Н., Чеботаев В.П. Гетеродинные лазерные деформографы для прецизионных геофизических измерений. Физика Земли. 1992, № 1, с. 85–91.
- [2] С.Н. Багаев, А.С. Дычков, А.Э. Ом, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, В.П. Чеботаев. Двухчастотная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений. Патент RU № 362923.
- [3] С.Н. Багаев, В.А. Орлов, А.Ю. Рыбушкин, В.М. Семибаламут, Ю.Н.Фомин. Двухчастотная лазерная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений. Патент RU №2082085.
- [4] S.N. Bagayev, V.A. Orlov, A.V. Pyatigorets. Observation of Earth's oscillations by a laser interferometric method. Proceedings of SPIE 2006, vol. 6284, PP.628404-(12 pages).
- [5] Орлов В.А., Панов С.В., Парушкин М.Д., Фомин Ю.Н. О связи сейсмичности Земли с солнечной активностью по результатам прецизионных деформографических наблюдений, Труды конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». Новосибирск, 2008, С.31-40.
- [6] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [7] В.А. Жмудь. Новый взгляд на опыт Майкельсона. Сборник научных трудов НГТУ. 2004. №4 (38). С. 157–164. ISSN 2307-6879.
- [8] Воевода А.А., Гончаренко А.М., Жмудь В.А. Фазометры для радиочастотных и лазерных измерителей перемещений и вибраций. ч.1. // Научный вестник НГТУ. 2009. - N 4(37). С.25-32. ч.2. // Научный вестник НГТУ. 2010. - N 1(38). С.35–74.
- [9] ГОСТ 10994-74. Сплавы прецизионные. Марки
- [10] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвар>
- [11] Материалы в машиностроении. Справочник. Том 3. Специальные стали и сплавы. М., Машиностроение, 1968 г, стр. 297.
- [12] В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, В.М. Семибаламут, Д.О. Терешкин, В.А. Жмудь / Комплекс для измерения сверхмалых приливных деформаций скальных пород на основе He-Ne-лазера. Автоматика и программная инженерия. 2014. №3(9). С. 54-65.
- [13] V.A. Orlov, M.D. Parushkin, D.O. Tereshkin, Yu.N. Fomin, V.A. Zhmud. The usability of the laser methods in monitoring of Earth seismic dynamics // Proceedings of DST-RFBR-Sponsored Second Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics. NSTU, Novosibirsk, Russia. 9th – 12th September 2011. Новосибирск, НГТУ. pp. 176–183.



**Владимир Михайлович Семибаламут** – ведущий научный сотрудник Сибирского отделения Геофизической службы СО РАН, кандидат физико-математических наук.  
E-mail: [wladim28@yandex.ru](mailto:wladim28@yandex.ru)



**Вадим А. Жмудь**, заведующий кафедрой Автоматики в Новосибирском государственном техническом университете, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН.  
E-mail: [zhmud@corp.nstu.ru](mailto:zhmud@corp.nstu.ru)



**Любомир В. Димитров**, декан машиностроительного факультета Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS).  
E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)

## Prospects for the Development of Systems for Monitoring Seismodynamics Rock

V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut,  
L.V. Dimitrov

*Abstract.* Lunar-solar tides occur on the Earth surface under the influence of gravitational forces of the Sun and Moon not only with ocean water, and with soil and rock. These oscillation movements may be harbingers of earthquakes and of other seismic events. So far, the monitoring of these oscillations is not disseminated widely enough. It does not allow reliably predict the time and location of upcoming earthquakes or other seismic activity of the Earth. Among the reasons for the lack of prevalence of these devices along with the lack of mines for their installation, another important reason there is the high cost and the uniqueness of such sensors. This reduces the reliability of their work and do not allow to accumulate sufficient statistical data for scientific forecasting. These sensors use laser interferometer method of measuring of the increments of the interferometer arms. Gas lasers and highly sensitive interferometers are extremely expensive and not reliable enough. The solution can be based on the use of inexpensive laser (such as semiconductor ones), as well as the use of the efficient optical measuring systems and highly intelligent signal processing methods that will improve the reliability of these measurements and ensure the production of certified sensors models for widespread use. The proposed methods can reduce the demands on the optical part of the device due to the higher complexity and extend the functionality of electronic part and

software of these devices, which will increase their accuracy and reliability, and lower their price. Therefore, the proposed recommendations for further modification of such devices will expand their application and increase the reliability of seismic forecasts.

*Key words:* interferometer, displacement measurement, vibration measurement, laser

## REFERENCES

- [1] S. Bagayev, V. Orlov, Yu. Fomin, V. Cheborayev. Heterodyne laser deformation meters for the precise geophysical measurements. *Earth Physics*. 1992. N 1, p. 85–91.
- [2] Russian Patent N 362923. S. Bagayev, A. Dichkov, A. Ohm, V. Orlov, Yu. Fomin. Two-frequency interferometer system for the measuring of the linear displacements.
- [3] Russian Patent N 2082085. S. Bagayev, V. Orlov, A. Ribushkin, V. Semibalamut, Yu. Fomin. Two-frequency interferometer system for the measuring of the linear displacements.
- [4] S.N. Bagayev, V.A. Orlov, A.V. Pyatigorets. Observation of Earth's oscillations by a laser interferometric method. *Proceedings of SPIE 2006*, vol. 6284, PP.628404-(12 pages).
- [5] V. Orlov, V. Panov, S. Parushkin, M. Parushkin, Yu. Fomin. About the relation between seismic activity of the Earth with the Sun activity on the results of the precision deformation measurements. *Proceedings of the conference "Geodynamics and stress of the Earth's interior"*, Russia, Novosibirsk, 2008, p.31–40.
- [6] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. *Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics"*, 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [7] V.A. Zhmud. *Novyj vzgljad na opyt Majkel'sona*. *Sbornik nauchnyh trudov NGTU*. 2004. №4 (38). S. 157–164. ISSN 2307-6879.
- [8] Voevoda A.A., Goncharenko A.M., Zhmud V.A. *Fazometry dlja radiochastotnyh i lazernyh izmeritelej peremeshhenij i vibracij*. ch.1. // *Nauchnyj vestnik NGTU*. 2009. - N 4(37). S.25-32. ch.2. // *Nauchnyj vestnik NGTU*. 2010. - N 1(38). S.35–74.
- [9] GOST 10994-74. *Splavy precizionnye*. Marki
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/Invar>
- [11] *Materialy v mashinostroenii*. Spravochnik. Tom 3. *Special'nye stali i splavy*. M., Mashinostroenie, 1968 g, str. 297.
- [12] V.A. Orlov, Ju.N. Fomin, V.M. Semibalamut, D.O. Tereshkin, V.A. Zhmud. *Kompleks dlja izmerenija sverhmalyh prilivnyh deformacij skal'nyh porod na osnove He-Ne-lazera*. *Avtomatika i programmaja inzhenerija*. 2014. №3(9). C. 54-65.
- [13] V.A. Orlov, M.D. Parushkin, D.O. Tereshkin, Yu.N. Fomin, V.A. Zhmud. The usability of the laser methods in monitoring of Earth seismic dynamics // *Proceedings of DST-RFBR-Sponsored Second Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics*. NSTU, Novosibirsk, Russia. 9th – 12th September 2011. Novosibirsk, NSTU. p. 176–183.

# Представление преобразования Френеля в дискретной форме

Гужов В.И., Несин Р.Б., Емельянов В.А.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** В статье рассматривается представление преобразования Френеля в дискретной форме. Основное внимание уделяется фазовым искажениям, которые возникают при изменении расстояния.

**Ключевые слова** Дискретизация, квантование, преобразование Френеля, цифровая голография.

## ВВЕДЕНИЕ

При моделировании цифровых голограмм основным математическим инструментом является преобразование Френеля, которое описывает преобразование волновых фронтов при прохождении ими некоторого расстояния [1].

Интегральный вид преобразования Френеля имеет следующий вид [2]

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi(\xi^2 + \eta^2)}{\lambda d}\right] \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} b_1(x, y) \exp\left[i\frac{\pi(x^2 + y^2)}{\lambda d}\right] \exp\left[-i\frac{2\pi(x\xi + y\eta)}{\lambda d}\right] dx dy \quad (1)$$

В (1)  $\lambda$  - длина волны света, используемого для освещения,  $d$  - расстояние между исходным волновым фронтом и преобразованным,  $b_1(x, y)$  - комплексная функция, полученная в результате пересчёта амплитуды и фазы поля,

отражённого объектом на плоскость  $(x, y)$  касательную к нему и параллельную плоскости наблюдения  $(\xi, \eta)$  (рис.1).

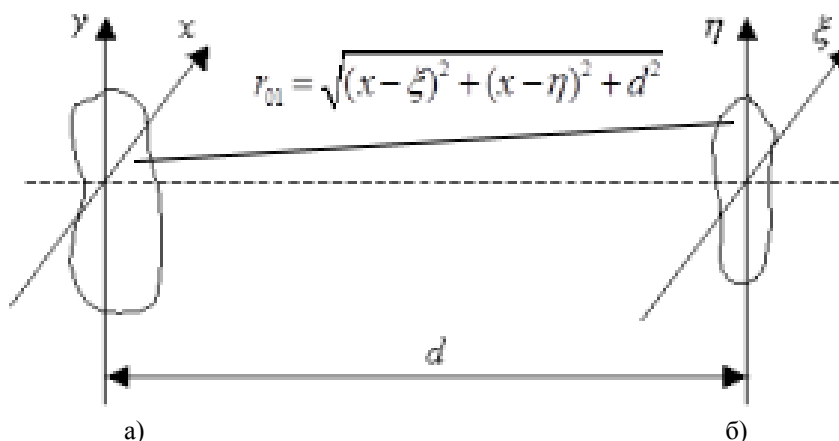


Рис. 1. Плоскость касательная к объекту  $(x, y)$  и плоскость дифракции  $(\xi, \eta)$

Наиболее простым описанием  $b_1(x, y)$  в дискретном виде является представление ее в виде матрицы отсчетов, взятых на прямоугольном растре с некоторым шагом по координатам  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . В [3] Ярославский Л.П. и Мерзляков Н.С. описали процесс дискретизации преобразования

Френеля. Эта книга положила основу для синтезирования цифровых голограмм и являлась руководством для нескольких поколений российских ученых. Однако авторов не интересовало точное восстановление фазы комплексного сигнала, поскольку в большинстве случаев анализировалась лишь амплитуда, т.е. изображение, восстановленное из голограммы.

В статье рассмотрены некоторые вопросы при синтезировании цифровых голограмм и последующем восстановлении фазовой информации из них.

## I. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРЕНЕЛЯ ЧЕРЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Дискретное представление интеграла Френеля имеет вид:

$$\Gamma(r,s) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi\left[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2\right]}{\lambda d}\right] \times \sum_k^{N_x-1} \sum_l^{N_y-1} b_1(k,l) \exp\left[i\frac{\pi(k^2\Delta x^2 + l^2\Delta y^2)}{\lambda d}\right] \exp\left[-i\frac{2\pi(kr\Delta\xi\Delta x + ls\Delta\eta\Delta y)}{\lambda d}\right] \quad (2)$$

Эффективная реализация выражения (2) может быть осуществлена с помощью цифрового преобразования Фурье. Для того чтобы преобразовать это выражение допустим, что  $\Delta x$  и  $\Delta\xi$  такие, что

$$\Delta\xi = \frac{\lambda d}{2X_{\max}} = \frac{\lambda d}{N_x \Delta x} \quad (3)$$

Тогда выражение (2) можно представить в виде

$$\Gamma(r,s) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi\left[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2\right]}{\lambda d}\right] \times \sum_k^{N_x-1} \sum_l^{N_y-1} b_1(k,l) \exp\left[i\frac{\pi(k^2\Delta x^2 + l^2\Delta y^2)}{\lambda d}\right] \exp\left[-i2\pi\left(\frac{kr}{N_x} + \frac{ls}{N_y}\right)\right] \quad (4)$$

Второй множитель представляет собой преобразование Фурье над аргументом

$$b_1(k,l) \exp\left[i\frac{\pi(k^2\Delta\xi^2 + l^2\Delta\eta^2)}{\lambda d}\right] \quad (5)$$

Выражение (4) наиболее известный вид дискретного интегрального преобразования Френеля.

Однако оно выполняется только при условии (3). Несложно показать, что это условие фактически определяет условие равенства размеров объекта и размер области регистрации и  $\Delta x = \Delta\xi$ . Расстояние, на котором размеры пикселей совпадают, можно определить следующим образом:

$$d_{eq} = \frac{N_x \Delta x^2}{\lambda} \quad (6)$$

Пусть  $\lambda = 0.5$  мкм,  $N_x \times N_y = 1024 \times 1024$ , то при следующих размерах объекта и области регистрации расстояния, на котором размеры объекта и размер области регистрации совпадают будет:

$$2X_{\max} = 2\xi_{\max} = 1 \text{ см} \quad d_{eq} = 195,3 \text{ мм}$$

$$2X_{\max} = 2\xi_{\max} = 2 \text{ см} \quad d_{eq} = 781,25 \text{ мм}$$

$$2X_{\max} = 2\xi_{\max} = 3 \text{ см} \quad d_{eq} = 1757,81 \text{ мм}$$

Выставлять точные значения для расстояния от объекта до плоскости регистрации сложно. Если расстояние установить не точно, возникают фазовые ошибки.

Множитель перед суммой отвечает за сдвиг фазы. Если в результате восстановления важна только интенсивность, то этим множителем можно пренебречь. Однако им нельзя пренебрегать при анализе фазовой информации.

Отношение размеров объекта и области регистрации преобразования Френеля связаны с расстоянием  $d$ . При этом размеры пикселей  $\Delta x$  и  $\Delta\xi$  могут отличаться (рис.2).

Введем параметр  $\gamma$ , характеризующий изменение размера апертуры регистратора в области преобразования Френеля [4].

$$\gamma_x = \frac{\Delta\xi}{\Delta x} \quad (7)$$

Для упрощения, считаем, что  $\gamma_x = \gamma_y = \gamma$  (рис. 1).

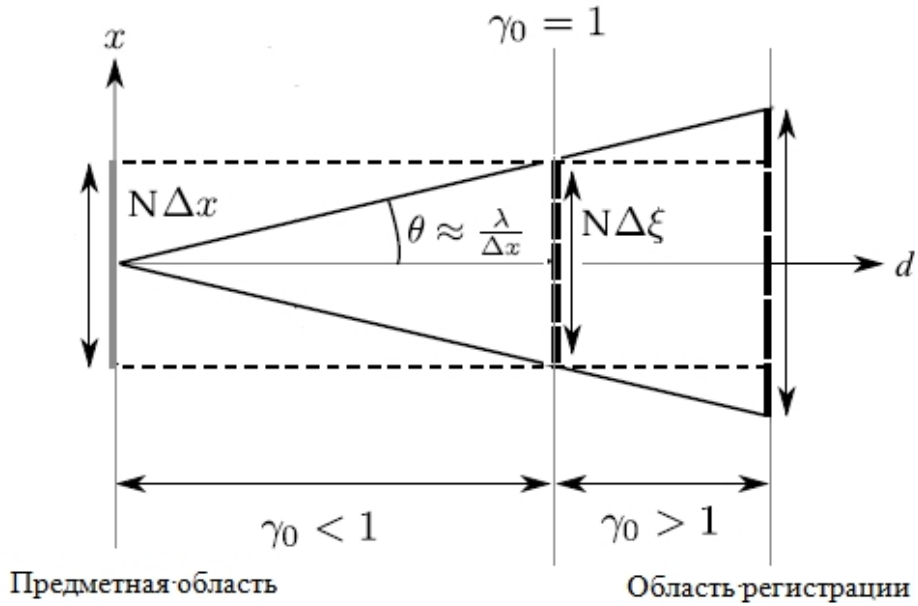


Рис. 2. Соответствие размеров пикселей в предметной области и области регистрации

Получим значения всех экспонент выражения (4).

$$\exp\left[i\frac{\pi}{\lambda d}\left[(k\Delta x)^2 + (l\Delta y)^2\right]\right] = \exp\left[i\frac{\pi}{\lambda d}\left[\left(\frac{k}{\gamma}\Delta\xi\right)^2 + \left(\frac{l}{\gamma}\Delta\eta\right)^2\right]\right] \quad (8)$$

$$\exp\left[-i\frac{2\pi(kr\Delta\xi\Delta x + ls\Delta\eta\Delta y)}{\lambda d}\right] = \exp\left[-i\frac{2\pi}{N}\left(\frac{k}{\gamma}r + \frac{l}{\gamma}s\right)\right] \quad (9)$$

Подставим значения экспонент в (4). В результате получим:

Учитывая, что  $\Delta\xi_{eq} = \frac{\lambda d_{eq}}{N_x \Delta\xi}$ :

$$\Gamma(r,s) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi\left[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2\right]}{\lambda d}\right] \times \sum_k \sum_l b_1(k,l) \exp\left[i\frac{\pi}{\lambda d}\left[\left(\frac{k}{\gamma}\Delta\xi\right)^2 + \left(\frac{l}{\gamma}\Delta\eta\right)^2\right]\right] \exp\left[-i\frac{2\pi}{N}\left(\frac{k}{\gamma}r + \frac{l}{\gamma}s\right)\right] \quad (10)$$

Если сделать замену переменных  $k^l = \frac{k}{\gamma}$ , то выражение (10) примет вид:

$$\Gamma(r,s) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi\left[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2\right]}{\lambda d}\right] \times \sum_k \sum_l b_1(k,l) \exp\left[i\frac{\pi}{\lambda d}\left[(k\Delta\xi)^2 + (l\Delta\eta)^2\right]\right] \exp\left[-i\frac{2\pi}{N}(kr + ls)\right] \quad (11)$$

Выражение (11) можно использовать для любого расстояния  $d$ , при котором  $\gamma > 1$ . Выражение (11) похоже на (4). Единственным различием является то, что используется только

размеры пикселя в области регистрации ( $\Delta\xi, \Delta\eta$ ).

Выражение (11) можно выразить через

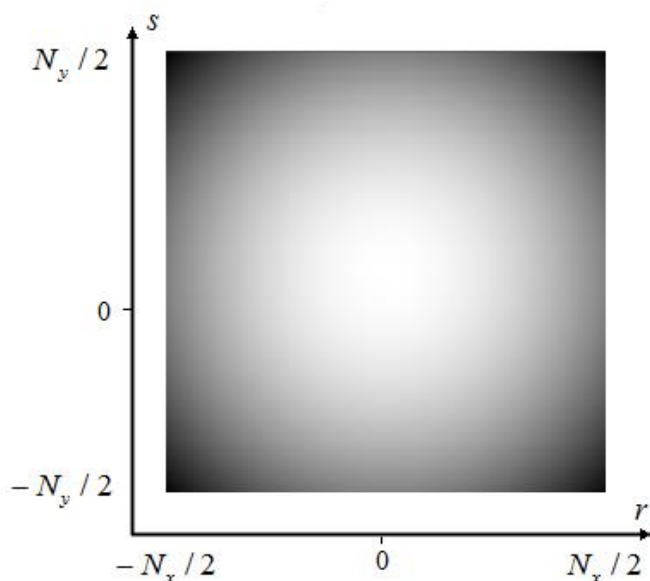
преобразование Фурье:

$$\Gamma(r, s) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i \frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i \frac{\pi \left[ (r\Delta x)^2 + (s\Delta y)^2 \right]}{\lambda d}\right] \mathfrak{F} \left( b_1(k, l) \exp\left[i \frac{\pi (k^2 \Delta x^2 + l^2 \Delta y^2)}{\lambda d}\right] \right) \quad (12)$$

## II. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРЕНЕЛЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГОЛОГРАММ

Рассмотрим первый сомножитель выражения (12). Следует учесть две особенности.

*Первое.* Выражение для сомножителя описывает сферический фазовый фронт (рис.3)



симметричный относительно центра изображения. Поэтому точка с координатами  $(r, s) = (0, 0)$  находится в центре изображения.

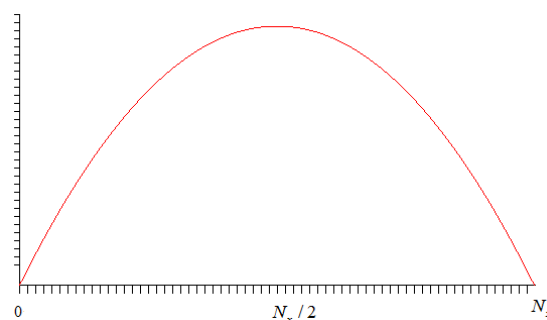


Рис. 3. Сферический фазовый фронт (справа график по центральной строке).

Второе. Это чисто фазовое выражение. Множитель  $\frac{i}{\lambda d} \exp\left[i \frac{2\pi d}{\lambda}\right]$  это большая постоянная добавка к фазе, которая при вычислении дискретного преобразования

Френеля может быть отброшена, поскольку она не влияет на вид фазового фронта.

Таким образом, дискретное преобразование Френеля можно записать в виде:

$$\Gamma(r, s) = -\exp\left[i \frac{\pi \left[ (r\Delta \xi)^2 + (s\Delta \eta)^2 \right]}{\lambda d}\right] \mathfrak{F} \left( b_1(k, l) \exp\left[i \frac{\pi (k^2 \Delta \xi^2 + l^2 \Delta \eta^2)}{\lambda d}\right] \right) \quad (13)$$

Кривизна сферического фронта уменьшается с расстоянием  $d$ . Пусть  $\lambda = 0.5$  мкм, размер апертуры регистратора - 1 см,  $N_x \times N_y = 1024 \times 1024$ , тогда при изменении расстояния кривизна фронта меняется следующим образом:

- $d = 10 \text{ см} \quad 0 - 996\pi$
- $d = 1 \text{ м} \quad 0 - 99\pi$
- $d = 10 \text{ м} \quad 0 - 9.9\pi$
- $d = 100 \text{ м} \quad 0 - 0.996\pi$

- $d = 1 \text{ км} \quad 0 - 0.099\pi$
- $d = 6 \text{ км} \quad 0 - 0.017\pi$

На больших расстояниях сферический фронт становится все более плоским и постепенно преобразование Френеля переходит в преобразование Фурье.

Для моделирования цифровых голограмм необходимо рассчитать преобразование Френеля в плоскости голограмм, смоделировать голограмму, а затем рассчитать преобразование Френеля в плоскости изображения рис.4.

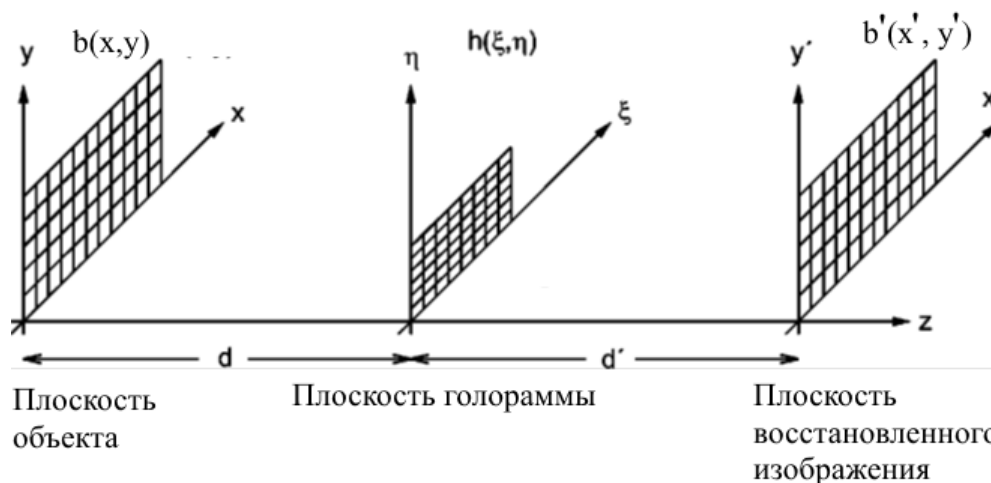


Рис. 4. Координатная система при получении голограмм и голографическом восстановлении.

Для расчета в плоскости голограммы исходными данными являются: размер апертуры фоторегистрирующей матрицы  $[-\xi_{\max}, \xi_{\max}; -\eta_{\max}, \eta_{\max}]$ , длина волны  $\lambda$ , расстояние до объекта  $d$ .

Размер объекта можно определить следующим образом:

$$d_{eq} = \frac{N_x \Delta \xi^2}{\lambda} - \text{расстояние, на котором}$$

$\Delta x = \Delta \xi$ . На этом расстоянии размер объекта  $2\xi_{\max}$ . Если  $d$  такое, что  $\gamma > 1$ , то размер

$$\text{объекта равен } 2X_{\max} = \frac{N_x \Delta \xi^2 d_{eq}}{\lambda d}.$$

Алгоритм преобразования Френеля обеспечивает простое масштабирование восстановленного изображения, однако это накладывает ряд ограничений на конструкцию измерительной системы, в частности верхняя и нижняя границы допустимого расстояния записи голограммы становятся значимым фактором.

#### IV. ВЫВОДЫ

Показано, что стандартный алгоритм дискретного преобразования Френеля (4) дает точные фазовые значения только при определенных расстояниях. На других расстояниях возникают фазовые ошибки.

В статье описан новый алгоритм для численного расчета преобразования Френеля (13), свободный от фазовых искажений на любых расстояниях между плоскостями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка методов сверхразрешения в цифровой голографической интерферометрии» (Грант № 16-08-00565).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Математическая модель распространения света в пространстве /Гужов В.И., Бердников П.А., Кузнецов Р.А.// Автоматика и программная инженерия, Новосибирск, – 2013.-№1(3) – С. 121 – 127.
- [2] Дж. Гудмен Введение в фурье-оптику.- Москва :Мир.- 1970.- 363 с.
- [3] Ярославский Л.П., Мерзляков Н.С. Цифровая голография.- М.: Наука.- 1982.- 219 с.
- [4] N.Verrier, M.Atlan Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations. APPLIED OPTICS / Vol. 50, No. 34 / 1 December 2011,-pp.H136-H146.



**Владимир Гужов** - профессор кафедры ССОД НГТУ, доктор технических наук. Он является автором более 170 научных работ. Область научных интересов: высокоточные интерференционные измерения, безошибочные вычисления, теория чисел.  
[e-mail: vig@nstu.edu.ru](mailto:vig@nstu.edu.ru)



**Виктор Емельянов** – аспирант, каф. ССОД НГТУ. Область научных интересов: устранение фазовой неоднозначности, цифровая голография.



**Ростислав Несин** –  
магистрант 2 курса  
каф. ВТ НГТУ.  
[e-mail:Rashpil93@mail.ru](mailto:Rashpil93@mail.ru)

## **Presentation of Fresnel Transform in the Discrete Form**

V.I. Guzhov, R.B. Nesin, V.A. Emelyanov

### **REFERENCES**

- [1] Matematicheskaja model' rasprostranenija sveta v prostranstve. Guzhov V.I., Berdnikov P.A., Kuznecov R.A. Avtomatika i programmaja inzhenerija, Novosibirsk, 2013. № 1(3) S. 121–127.
- [2] J.W. Goodman Introduction to Fourier optics. Roberts and Company Publishers, 2005 – 491 p.
- [3] Jaroslavskij L.P., Merzljakov N.S. Cifrovaja golografija. M.: Nauka.- 1982.- 219 s.
- [4] N.Verrier, M.Atlan Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations. APPLIED OPTICS. Vol. 50, No. 34. 1 December. 2011, p.H136-H146.



# Область возможного применения дискретных преобразований Фурье и Френеля

Гужов В.И., Емельянов В.А., Хайдуков Д.С.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** В статье рассматриваются границы применимости преобразования Френеля и Фурье. Показано, что в оптическом диапазоне дискретное преобразование Френеля можно применять для случаев, когда расстояние до объекта сравнимо с размерами объекта.

**Ключевые слова** Дискретизация, квантование, преобразование Фурье, преобразование Френеля, цифровая голография, цифровая обработка сигналов.

## ВВЕДЕНИЕ

Существующая теория описывает распространение волнового поля в соответствии с принципом Гюйгенса [1]. Задолго до открытия

электромагнитной природы света, Гюйгенс предложил трактовать распространение света с использованием понятия волновых поверхностей [2]. Пусть известна какая-либо волновая поверхность, тогда каждую точку этой поверхности можно рассматривать как вторичный источник колебаний, а затем, следующие волновые поверхности находить как огибающие сферических волн, испускаемых этими точечными источниками (Рис. 1).

В соответствии с принципом Гюйгенса поле в любой точке новой волновой поверхности находится как суперпозиция полей, приходящих в эту точку от различных точек первичной поверхности.

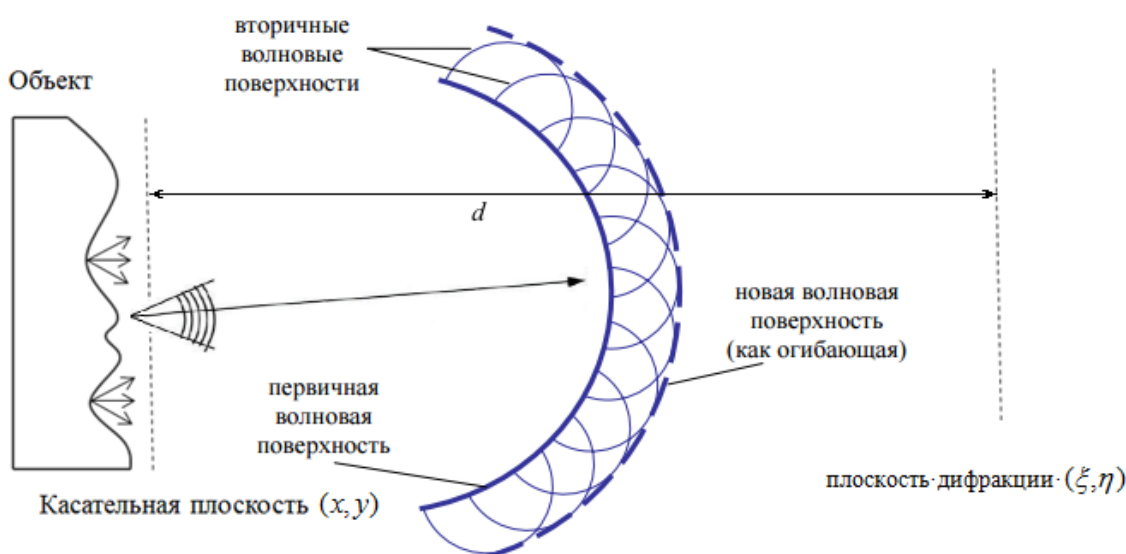


Рис. 1. Принцип Гюйгенса

Френель дал математическую формулировку принципа Гюйгенса и предложил учитывать фазы колебаний, пришедших от различных точек, при их сложении. Киргоф придал этой идее строгий математический вид и показал, что принцип Гюйгенса-Френеля можно считать приближенной формой интегрального выражения.

Проблемы, возникающие при изучении дифракционных явлений, являются наиболее трудными, и в оптике их редко удается довести до строгого математического решения. В большинстве случаев, представляющих практический интерес, из-за математических трудностей, приходится прибегать к

приближенным методам [3]. В этом случае накладываются определенные допущения, которые ограничивают область действия.

Дискретные преобразования Френеля часто используются при расстояниях, значительно меньших, чем допускаются классическими ограничениями. При этом результаты расчетов хорошо соответствуют практическим исследованиям. Целью данной статьи является анализ возможной области действия дискретных преобразований Френеля и Фурье при исследованиях в оптическом диапазоне.

### I. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРЕНЕЛЯ И ФУРЬЕ

Если пересчитать амплитуду и фазу поля, отражённого объектом на плоскость  $(x, y)$  касательную к нему и параллельную плоскости наблюдения  $(\xi, \eta)$  (рис.1), тогда интегральное соотношение Кирхгофа можно переписать в следующем виде [1]:

$$\Gamma(\xi, \eta) = \int_{(x,y)} b_1(x, y) T_d(x, y, \xi, \eta) dx dy, \quad (1)$$

где  $b_1(x, y)$  - комплексная функция, полученная в результате пересчёта,  $T_d(x, y, \xi, \eta)$  - ядро преобразования между двумя плоскостями,  $d$  - расстояние между этими плоскостями (рис.1). Ядро преобразования имеет вид:

$$T_d(x, y, \xi, \eta) = \frac{\exp(-i \frac{2\pi}{\lambda} r(x, y, \xi, \eta, d))}{r(x, y, \xi, \eta, d)} K(\alpha)$$

(2).

Интеграл (1) с ядром (2) является математической формулировкой принципа Гюйгенса и называется дифракционным интегралом или интегралом Гюйгенса- Френеля. Первый множитель в (2) описывает распространение элементарной вторичной сферической волны от поверхности  $(x, y)$  к поверхности  $(\xi, \eta)$ . Множитель  $K(\alpha)$  описывает зависимость амплитуды излучаемых вторичных волн от угла дифракции  $\alpha$ . Угол дифракции - это угол между нормалью к плоскости наблюдения и вектором  $r_{01}$ . (рис.2).

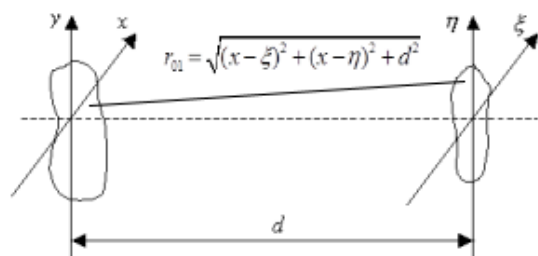


Рис. 2. Плоскость касательная к объекту  $(x, y)$  и плоскость дифракции  $(\xi, \eta)$

Независимо от формы дифракционного интеграла начальное значение этой функции  $K(0) = 1 / i\lambda = -i / \lambda$ .  $\lambda$  - длина волны излучения. Френель полагал, что  $K(\alpha)$  убывает от начального значения до нуля при изменении угла от 0 до  $\pi / 2$ , но окончательное выражение не определил. Кирхгоф рассмотрел распространение сферических волн через отверстия, решая уравнение Гельмгольца с учётом граничных условий, описывающих свойства экрана и отверстия, и пришёл к выводу, что

$$K(\alpha) = \frac{1}{i\lambda} \left( \frac{1 + \cos(\alpha)}{2} \right). \quad (3)$$

В формулировке Рэля-Зоммерфельда множитель  $K(\alpha)$  определяется следующим образом [4]:

$$K(\alpha) = \frac{1}{i\lambda} \cos(\alpha). \quad (4)$$

С учетом (4) ядро преобразования (2) будет выглядеть следующим образом:

$$T_d(x, y, \xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda} \frac{\exp[i2\pi\lambda^{-1} \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + d^2}]}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + d^2}} \cos(\bar{n}, \bar{r}_{01}) \quad (5)$$

Применение дифракционного интеграла с ядром (2) для описания распространения поля имеет свои ограничения. Для анализа дифракционных картин в области, прилегающей к касательной плоскости (Рис. 1), когда расстояние между плоскостями меньше длины волны, следует непосредственно искать решение волнового уравнения с учётом жёстких граничных условий, описывающих свойства объекта.

Для расчёта дифракционных картин на достаточном удалении от экрана с отверстием, когда расстояние намного больше длины волны, широко применяются приближённые и более простые решения задачи дифракции: приближение Френеля и приближение Фраунгофера.

**Приближение Френеля.** Будем предполагать, что геометрические размеры объекта намного меньше, чем расстояние  $d$  до плоскости наблюдения. Кроме того, предположим, что в плоскости наблюдения рассматривается только конечная область вблизи оси  $z$  и расстояние  $d$  много больше максимального размера этой области. С учетом этих допущений можно считать, что с точностью не хуже 5%  $\cos(\bar{n}, \bar{r}_{01}) \approx 1$ , если угол  $(\bar{n}, \bar{r}_{01}) \approx 1$  не превышает 18 градусов [4]. Величину  $r_{01}$  в знаменателе (5) можно заменить на  $d$ .

В этом случае ядро преобразования (5) можно представить в виде:

$$T_d(x, y, \xi, \eta) \approx \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + d^2} \right] \quad (6)$$

Однако величину  $r_{01}$ , входящую в экспоненту, нельзя просто заменить на  $d$ , поскольку число  $k = 2\pi\lambda^{-1}$ , которое входит как множитель в экспоненту, очень большое. Поэтому используем аппроксимацию корня разложением его в ряд. Точная формула для расстояния имеет вид

$$r_{01} = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + d^2} = d \sqrt{\left(\frac{x-\xi}{d}\right)^2 + \left(\frac{y-\eta}{d}\right)^2 + 1} \quad (8)$$

Для аппроксимации удобно воспользоваться разложением квадратного корня в ряд

$$\sqrt{1+b} = 1 + \frac{1}{2}b - \frac{1}{8}b^2 + \dots, \quad |b| < 1 \quad (7)$$

Предположим, что квадратный корень достаточно хорошо аппроксимируется первыми двумя членами этого разложения. Тогда

$$r_{01} \approx d \sqrt{\left(\frac{x-\xi}{d}\right)^2 + \left(\frac{y-\eta}{d}\right)^2 + 1} \approx d \left[ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x-\xi}{d}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y-\eta}{d}\right)^2 \right] \quad (9)$$

Это приближение называется приближением Френеля. Приближение Френеля описывает дифракцию слабосходящихся пучков. Фактически мы заменяем сферические вторичные волны Гюйгенса поверхностями второго порядка.

Когда расстояние  $d$  достаточно велико для того, чтобы это выражение выполнялось, говорят, что наблюдатель находится в области **дифракции Френеля**

Выражение (5) для ядра преобразования будет выглядеть следующим образом:

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi(\xi^2 + \eta^2)}{\lambda d}\right] \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} b_1(x, y) \exp\left[i\frac{\pi(x^2 + y^2)}{\lambda d}\right] \exp\left[-i\frac{2\pi(x\xi + y\eta)}{\lambda d}\right] dx dy \quad (14)$$

**Приближение Фраунгофера.** Расчет дифракционной картины становится еще проще, если принять еще более жесткие ограничения. Если принять предположение Фраунгофера

$$d \gg \frac{\pi}{\lambda} (x^2 + y^2)_{\max} \quad (15)$$

то квадратичный фазовый множитель становится

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[i\frac{2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left[i\frac{\pi(\xi^2 + \eta^2)}{\lambda d}\right] \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} b_1(x, y) \exp\left[-i\frac{2\pi(x\xi + y\eta)}{\lambda d}\right] dx dy \quad (16)$$

Без учета фазовых множителей, стоящих перед интегралом, это выражение представляет собой Фурье-образ функции  $b_1(x, y)$  для частот

$$v_x = \xi / \lambda d \quad \text{и} \quad v_y = \eta / \lambda d$$

$$\mathfrak{F}_{b_1}(v_x, v_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} b_1(x, y) \exp\{-i2\pi[xv_x + yv_y]\} dx dy \quad (17)$$

$$T_d(x, y, \xi, \eta) \approx \frac{1}{i\lambda d} \exp\left[\frac{i2\pi d}{\lambda}\right] \exp\left\{\frac{i\pi[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]}{\lambda d}\right\} \quad (10)$$

Если в разложении квадратного корня (9) сохраняем только два члена ряда, тогда величина ошибки при вычислении  $r_{01}$  не превосходит по модулю третьего члена ряда:

$$\Delta r_{01} = d \left\{ \frac{1}{8d^4} [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]^2 \right\} \quad (11)$$

При аппроксимации корня сферические волны заменяются поверхностями второго порядка. Такая аппроксимация накладывает достаточно большие ограничения на размер объекта, расстояние  $d$  и размеры области наблюдения.

Можно потребовать, чтобы максимальное изменение фазы при рассеивании света от объекта, вносимое членом более высокого порядка, было много меньше 1 рад.

$$\exp\left[\frac{i2\pi d}{\lambda} \left\{ \frac{1}{8d^4} [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]^2 \right\}\right] = \exp\left[\frac{i\pi}{4\lambda d^3} [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]^2\right] \ll 1 \quad (12)$$

Это условие будет выполнено при выполнении следующего выражения:

$$d^3 \gg \frac{\pi}{4\lambda} [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]_{\max} \quad (13)$$

После разложения квадратичных членов в экспоненте (10) получим запись интегрального соотношения Кирхгофа (1) в виде (14):

примерно равным единице. В приближении Фраунгофера поверхности анализа являются плоскостями. Таким образом, в области **дифракции Фраунгофера** можно записать:

## II. ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФРЕНЕЛЯ И ФУРЬЕ

В области оптических частот условия, необходимые для выполнения дифракции Фраунгофера, могут быть достаточно жесткими.

Для преобразования Фраунгофера расстояние, на котором преобразование можно применять, определяется выражением (15).

Оценим допустимое значение расстояния для

преобразования Фраунгофера.

Если размер объекта  $2x_{\max}=2,5$  см, то допустимое расстояние, на котором выполняется преобразование Фраунгофера:  $x_{\max}=2,5*10^{-2}$ м и  $y_{\max}=2,5*10^{-2}$ м,  $x_{\max}^2 + y_{\max}^2 = 6,25*10^{-4}$ м<sup>2</sup>. Пусть длина волны равна  $0,6*10^{-6}$ м, тогда  $\pi / \lambda \approx 5,24*10^6$ м<sup>-1</sup>. Подставляя эти значения в (15) получим  $d \gg 3275$  м. Таким образом, преобразование Фурье можно применять при удалении объекта более чем на 3 км от области регистрации.

Теперь оценим допустимое значение расстояния для преобразования Френеля при тех же параметрах объекта.

Для оценки границ применимости приближения Френеля принято, что анализ дифракционных картин ведётся в области, размер диаметра которой больше, чем у объекта рассеивания в 4 раза. Если размер объекта 2,5 см, то размер области рассеивания 10 см. В этом случае  $(x - \xi)_{\max} = 7,5$  см и  $(x - \eta)_{\max} = 7,5$  см. Для преобразования Френеля ограничение расстояния определяется выражением (13).

$$\sqrt[3]{\pi / (4\lambda)} \approx 1,1*10^2 \text{ м}^{-1/3}$$

$$\sqrt[3]{\left[ \left( (x - \xi)_{\max}^2 + (x - \eta)_{\max}^2 \right)^2 \right]} = 23,3*10^{-2} \text{ м}^{2/3}$$

Подставляя эти значения в (13) получим  $d \gg 25,6$

$$\Gamma(r, s) = -\exp \left\{ i \frac{\pi}{\lambda d} \left[ \left( \Delta \xi \left( i - \frac{N_x}{2} \right) \right)^2 + \left( \Delta \eta \left( j - \frac{N_y}{2} \right) \right)^2 \right] \right\} \mathfrak{F}_{b_1} \left( b_1(k, l) \exp \left\{ i \frac{\pi}{\lambda d} \left[ \left( \Delta \xi \left( k - \frac{N_x}{2} \right) \right)^2 + \left( \Delta \eta \left( l - \frac{N_y}{2} \right) \right)^2 \right] \right\} \right), \quad (18)$$

где  $N_x \times N_y$  - число элементов дискретизации в плоскости регистрации,  $\Delta \xi, \Delta \eta$  - размер элементов квантования,  $\mathfrak{F}_{b_1}(\cdot)$  - дискретное преобразование Фурье.

Дискретное преобразование Френеля использует сумму волн, каждая из которых

м. Т.е., при указанных параметрах, преобразование Френеля можно использовать на расстоянии более 25 м.

Размеры реальных оптических установок таковы, что плечи оптических пучков в них намного меньше указанных расстояний. Однако в экспериментальных оптических установках преобразование Френеля можно использовать, если воспользоваться дискретной формой представления этого преобразования. В [6] рассмотрена возможность использования преобразования Френеля в акустической, сейсмической и радиологической в случае, когда расстояние до объекта сравнимо с размерами объекта. Рассмотрим применимость дискретного преобразования Френеля в оптическом диапазоне.

## II. ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФРЕНЕЛЯ И ФУРЬЕ

В [5] показан процесс дискретизации преобразований Френеля и Фурье. В [7] приведена модифицированная схема преобразования Френеля, которая не содержит фазовых ошибок в зависимости от расстояния. С учетом круговой симметрии сферических фронтов модифицированное преобразование Френеля можно представить как

рассеивается на площади размером  $\Delta x$ . Если  $\Delta x$  достаточно мало, то возможно выбрать расстояние  $d$ , на котором погрешность определения фазы будет малой (рис. 3).

По мере удаления от поверхности предмета кривизна вторичных сферических волн уменьшается (рис. 4).

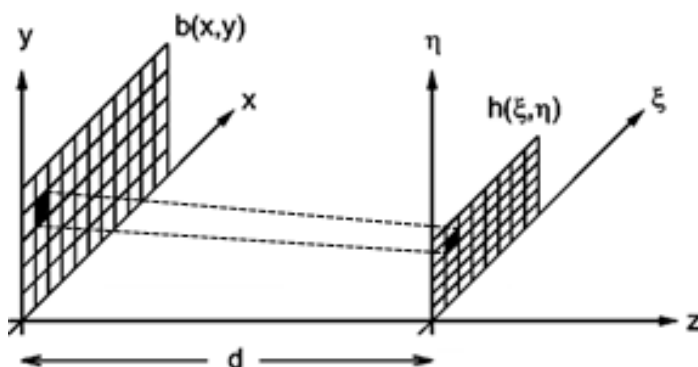


Рис. 3 – Соответствие размеров пикселей в предметной области и области голограммы.

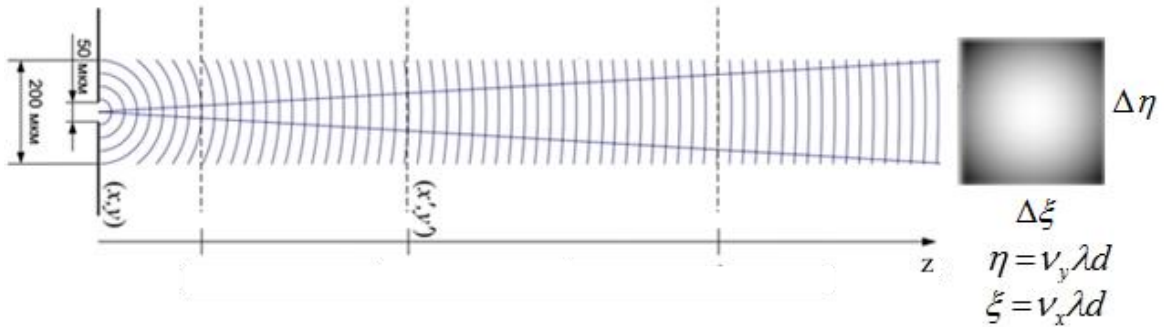


Рис. 4 – Рассеивание сферической волны от одного пикселя.

Рассмотрим размер небольшой одиночной площадки. Пусть размер объекта  $X_{\max} = 5,12$  см, число элементов дискретизации  $N_x \times N_y = 1024 \times 1024$ , тогда размер одного элемента дискретизации будет равен 50 мкм.

Проведем стандартные расчеты, для оценки возможности применения преобразования Фурье при рассеивании от такого элемента. Если размер объекта 50 мкм, размер области рассеивания 200 мкм. В этом случае  $(x - \xi)_{\max} = (x - \eta)_{\max} = 150$  мкм.

$$\sqrt[3]{\left[ \left( (x - \xi)_{\max}^2 + (x - \eta)_{\max}^2 \right)^2 \right]} = 1265,1 \text{ мкм}^{2/3}$$

Подставляя эти значения в (13) получим  $d \gg 1,4$

мм.

К сожалению, стандартный метод расчета, основанный на том, что область рассеивания в 4 раза больше, дает очень большую погрешность.

Попробуем оценить количественно искажения волнового фронта, возникающие в результате выбранной аппроксимации. Рассмотрим рассеяние сферической волны на некотором расстоянии (рис.4). Математически сферическую опорную волну, распространяющуюся из центральной точки объектной плоскости на расстоянии  $d$  от плоскости наблюдения, можно записать как (19). Массив распределений комплексной амплитуды в плоскости  $(x, y)$  можно записать как (20).

$$\vec{A}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + d^2}} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{x^2 + y^2 + d^2}\right) \quad (19)$$

$$U_r(i, j) = \text{Amp}(i, j) \cdot \exp(\text{Phase}(x, y)) \quad (20)$$

Центр сферы будет находиться в точке с координатами  $x_0 = 0, y_0 = 0$ . Если нужно, чтобы центр находился в центре изображения

необходимо центр сферы перенести в центр изображения.

$$\vec{A}(x, y) = \frac{\exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\left(\frac{2\xi_{\max}}{N_x} \cdot \left(i - \frac{N_x}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{2\eta_{\max}}{N_y} \cdot \left(j - \frac{N_y}{2}\right)\right)^2 + d^2}\right)}{\sqrt{\left(\frac{2\xi_{\max}}{N_x} \cdot \left(i - \frac{N_x}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{2\eta_{\max}}{N_y} \cdot \left(j - \frac{N_y}{2}\right)\right)^2 + d^2}} \quad (21)$$

Параксиальное приближение (9) будет выглядеть как

$$\vec{A}(x, y) = \frac{1}{d} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} \left[ d + \frac{1}{2d} \left( \frac{2\xi_{\max}}{N_x} \cdot \left(i - \frac{N_x}{2}\right) \right)^2 + \frac{1}{2d} \left( \frac{2\eta_{\max}}{N_y} \cdot \left(j - \frac{N_y}{2}\right) \right)^2 \right] \right) \quad (22)$$

Посмотрим, как изменяется разность этих фронтов на разных расстояниях.

Для приведенного примера разность волновых фронтов (19) и (20) составит  $1,38 \pi$  на расстоянии 1,4 мм. На других расстояниях:

10 см  $0,02 \pi$

20 см  $0,01 \pi$

30 см  $0,07 \pi$

40 см  $0,005 \pi$

1,5 м  $0,001 \pi$

На расстоянии 20 см ошибка между фронтами

составит меньше  $\pi/100$ . Начиная с этого расстояния можно без существенных фазовых искажений использовать преобразование Френеля.

$$\exp\left\{i\frac{\pi}{\lambda d}\left[\left(\Delta\xi\left(k-\frac{N_x}{2}\right)\right)^2+\left(\Delta\eta\left(l-\frac{N_y}{2}\right)\right)^2\right]\right\} \quad (23)$$

С увеличением расстояния этот множитель становится равным нулю. Поэтому преобразование Френеля постепенно переходит в преобразование Фурье (поскольку фазовый множитель дает только добавку к фазе).

Это расстояние зависит от размера объекта и длины волны. В [7] показано, что это расстояние может быть достаточно большим.

Пусть размер объекта  $X_{\max} = 5,12$  см, число элементов дискретизации  $N_x \times N_y = 1024 \times 1024$ , тогда размер одного элемента дискретизации будет равен 50 мкм. Тогда при  $d = 1$  км кривизна фронта (23) составит  $0,02\pi$ . При  $d = 2$  км кривизна фронта составит  $0,01\pi$ . В этом случае преобразование Френеля переходит в преобразование Фурье.

## ВЫВОДЫ

Показано, что стандартные алгоритмы расчета, которые определяют допустимую величину расстояний, при которых можно использовать преобразование Френеля не работают при небольших размерах объекта

Рассмотрен численный алгоритм, позволяющий определить область допустимых границ использования преобразований Френеля и Фурье.

Для дискретного преобразования Френеля граница допустимых областей применения составит от 20 см и более, при длине волны 0,6 мкм и размере объекта около 5 см. Таким образом, показано, что и в оптическом диапазоне измерений можно применять дискретное преобразование Френеля для случаев, когда расстояние до объекта сравнимо с размерами объекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка методов сверхразрешения в цифровой голографической интерферометрии» (Грант № 16-08-00565).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука. 1973. 719 с.
- [2] В.М. Домненко, М.В. Бурсов, Т.В. Иванова. Моделирование формирования оптического изображения. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2011 -141 с.
- [3] Математическая модель распространения света в пространстве. Гужов В.И., Бердников П.А.,

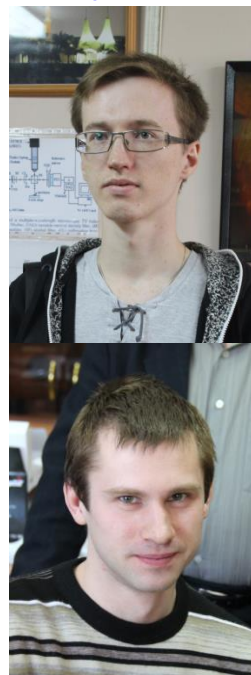
Выражение для дискретных преобразований Френеля и Фурье отличаются фазовым множителем

- Кузнецов Р.А. Автоматика и программная инженерия, Новосибирск, 2013. №1(3) С. 121–127.
- [4] Дж. Гудмен Введение в фурье-оптику. Москва: Мир. 1970. 363 с.
  - [5] Ярославский Л.П., Мерзляков Н.С. Цифровая голография. М.: Наука. 1982. 219 с.
  - [6] Мерзляков Н.С., Попова Н.Р. Некоторые особенности использования дискретного преобразования Френеля при цифровом восстановлении голограмм. Автометрия. №5. 1987. с. 17-22.
  - [7] Представление преобразования Френеля в дискретной форме. Гужов В.И., Несин Р.Б., Емельянов В.А. Автоматика и программная инженерия, Новосибирск. 2016. № 1(14), с. 91–96.



**Владимир Гужов** - профессор кафедры ССОД Новосибирского Государственного Технического университета, доктор технических наук. Является автором более 170 научных работ. Область научных интересов:

высокоточные интерференционные измерения, безошибочные вычисления, теория чисел.  
[e-mail:vig@nstu.edu.ru](mailto:e-mail:vig@nstu.edu.ru)



**Виктор Емельянов** – аспирант, каф. ССОД НГТУ. Область научных интересов: устранение фазовой неоднозначности, цифровая голография.

**Хайдуков Дмитрий** – ассистент, каф. ССОД НГТУ, к.т.н.. Является автором более 20 научных работ. Область научных интересов: расшифровка интерферограмм, цифровая голография.

**The Area of Possible Application of  
Discrete Fourier transform and Fresnel  
transform**

V.I. Guzhov, V.A. Emelyanov, D.S. Hajdukov

**REFERENCES**

- [1] M.Born, E.Volf Principles of Optics. Seventh (Expanded) Edition, Cambridge University Press. 1980. (first published 1959). 936 p.
- [2] V.M. Domnenko, M.V. Bursov, T.V. Ivanova. Modelirovanie formirovanija opticheskogo izobrazhenija. Uchebnoe posobie. – SPb: NIU ITMO, 2011 -141 s.
- [3] Matematicheskaja model' rasprostraneniya sveta v prostranstve. Guzhov V.I., Berdnikov P.A., Kuznecov R.A. Avtomatika i programmaja inzhenerija, Novosibirsk. 2013. №1(3) S. 121–127.
- [4] J.W. Goodman Introduction to fourier optics. Roberts and Company Publishers, 2005. 491 p.
- [5] Jaroslavskij L.P., Merzljakov N.S. Cifrovaja golografija. M.: Nauka. 1982. 219 s.
- [6] Merzljakov N.S., Popova N.R. Nekotorye osobennosti ispol'zovanija diskretnogo preobrazovanija Frenelja pri cifrovom vosstanovlenii gologramm. Avtometrija.- №5. 1987. s. 17-22.
- [7] Presentation Fresnel transform in the discrete form. Guzhov V.I., Nesin R.B., Emelyanov V.A. Automatics & Software Enginery, Novosibirsk. 2016. №1(14) P. 91–96.

**V. Популярные статьи.  
Введение в специальность.**



### **Содержание раздела:**

- ❖ В.А. Жмудь. О методах повышения количества, качества и полезности научных публикаций и объектов интеллектуальной собственности. Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 106–111.

# О методах повышения количества, качества и полезности научных публикаций и объектов интеллектуальной собственности

В.А. Жмудь

ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

**Аннотация.** Статьи и объекты интеллектуальной собственности являются в настоящее время наиболее важными показателями эффективности работы ученых и преподавателей. Значимость этих формальных показателей постоянно растет, правила их подготовки постоянно изменяются, результативность этих процессов не подтверждается. В статье обсуждаются причины этого явления и возможные методы исправления ситуации.

**Ключевые слова:** инновация, патентование, патентоспособность, инновационные идеи, наука, высшее образование

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый, кто имеет какое-либо отношение к науке или образованию не мог не заметить, что в последние десять лет политика государства в отношении к этой сфере резко изменилась.

В социалистический период истории нашей страны отношение государства к науке определялось духом директив В.И. Ленина, который называл словом «электрификация» отнюдь не только обеспечение всей страны электроэнергией. Под этим понятием понималось широкое внедрение научно-технических достижений во все сферы народного хозяйства. Следует согласиться, что практически все современные научные достижения и технические средства так или иначе связаны с электричеством, поэтому применение этого термина было вполне оправдано и уместно.

Согласно указанной политике, ученые и специалисты высшей квалификации, работающие в сфере народного хозяйства, получали дополнительную государственную поддержку, которая состояла в более высоких заработных платах. В годы дефицита продуктов питания даже выделялись специальные пищевые пайки, впоследствии названные «заказами».

Переход на «рыночную экономику» предполагал в первоначальных идеях, как они были сформулированы М.С. Горбачевым и его сторонниками, теорию о том, что рынок в его чрезвычайно расширенном понимании, сам может управлять производственными отношениями. Эта идея была высказана как альтернатива командной системе управления. В принятии этой идеи в качестве панацеи от всех проблем социализма

представляется нам крайним привитивизмом и следствием недостаточной научной грамотности и мизерной научной компетентности ее авторов.

Действительно, долгое время пропандировался подход о диаметральной противоположности капиталистической и социалистической системы. И коль скоро социалистическую систему тогдашнее руководство признало никуда не годной, то был сделан вывод о том, что капиталистическая система идеальна. Методологически работало предположение, что коль скоро социализм и капитализм диаметрально противоположны, то строительство капитализма можно и нужно осуществить простым разрушением всего, что относится к социализму. Например, разрушить государственную собственность, причем, совершенно не важно, каким путем, в чьи руки и в каких размерах государственная собственность перейдет, важно, чтобы она прекратила свое существование.

Подобные ошибки совершали и ранние революционеры, считая, что строительство социализма тождественно простому разрушению всего, что создано альтернативной системой, что и привело к разрухе в 20-х годах двадцатого века.

Не удивительно, что и политика обратного движения к капитализму теми же методами привело к такому же результату, а именно – к разрухе в последнем десятилетии двадцатого века. Последствия этой разрухи ощущаются и в наше время. В частности, с этой поры унаследовано глобальное отставание в научно-технической сфере. Это сказывается и на науке, которая не может найти отечественного заказчика своим разработкам, и на образовании, которое ощущает падение спроса на высококвалифицированные кадры с высшим профессиональным образованием. Можно назвать эту ситуацию «дефицит кадрового дефицита». Как образно говорил С.Е. Лец, «человечество в скором будущем научится обходиться без самого себя».

Система высшего образования может успешно существовать и развиваться в том случае, когда ее выпускники остро необходимы экономике. Эта необходимость заставляет привлекать этих выпускников высокими окладами, а высокие оклады являются стимулом для получения высшего образования. Если же оплата труда специалистов с высшим образованием не выше

доходов лиц без такого образования, то получение этого образования становится нецелесообразной. В наше время высшее образование требуется лишь для наличия диплома, с которым более охотно берут на работу, не требуя при этом зачастую никаких профессиональных знаний, которые получены специалистом при обучении ради получения этого диплома.

Такая ситуация благоприятна для расцвета коррупции в сфере высшего образования, поскольку если студентам нужен лишь диплом, но не нужны знания, то это облегчает поиск недобросовестных преподавателей, которые также могут согласиться ставить положительные оценки без адекватных знаний.

Естественным следствием является неудовлетворительная оценка всей системы высшего образования, которую, по-видимому, разделяет и высшее руководство в этой сфере.

Как следствие, руководство, чья обязанность состоит в повышении эффективности науки и образования, лихорадочно (по-другому не скажешь) ищет новые методы руководства ими и критерии оценки их результативности. Эти поиски приводят к необоснованному завышению малозначимых критериев и пренебрежению более важными показателями.

В данной статье делается попытка анализа некоторых методов управления процессами создания научных статей и объектов интеллектуальной собственности, даются предложения о коррекции этих подходов.

### **О СТИМУЛИРОВАНИИ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

В отношении стимулирования создания объектов интеллектуальной собственности (ОИС) закон давно предполагал обязательность премирования авторов со стороны правообладателя. Недавно вышло постановление Правительства РФ №512 от 04.06.2014 «Об утверждении правил выплаты вознаграждения...», в котором даны рекомендации о размере этого стимулирования.

Ошибочно было бы принимать это положение формально и не творчески, поскольку единый размер вознаграждения за любой ОИС не целесообразен. Изобретения могут обладать высоким коммерческим потенциалом, равно как и низким, а в ряде случаев этот он вообще не просматривается.

Ориентация на большую величину вознаграждения требует резервирования излишних средств на вознаграждение без достаточной надобности. Это заставило бы предприятия ограничить количество заявок на регистрацию ОИС. Слишком малый размер вознаграждения, казалось бы, устраняет заинтересованность авторов в оформлении ОИС, однако, это не вполне так.

Во-первых, согласно положению ВАК,

патенты и зарегистрированные программные продукты приравниваются к публикациям в рецензируемых научных изданиях из приоритетно перечня ВАК. То есть если, например, для защиты диссертации на соискание научной степени кандидата наук требуется не менее 3–4 таких публикаций, то формально достаточно 3–4 патентов или зарегистрированных программных продуктов для выхода на защиту.

Во-вторых, предприятия также оцениваются по количеству ОИС. Это важно для участия в различных конкурсах, то есть для получения финансирования.

В-третьих, ряд источников финансирования на выполнение проектов по грантам предполагает обязательное достижение такого показателя, как количество созданных ОИС при выполнении проекта.

Поэтому сохраняется заинтересованность сотрудников и предприятия в целом в получении новых охранных документов на ОИС. Следовательно, даже при отсутствии премии авторскому коллективу, некоторый поток заявок на регистрацию ОИС сохранился бы. Следовательно, имеются основания для совместной заинтересованности предприятия (правообладателя) и сотрудников (авторов) в подаче заявок, даже при отсутствии вознаграждения. Поскольку отсутствие вознаграждения противоречит действующим законам, авторы могут заключать с предприятием предварительные соглашения о любом размере вознаграждения, включая сколь угодно малое, например, одна тысяча рублей и даже меньше.

Поскольку указанное выше постановление действует не безоговорочно, а лишь в случае, если стороны не заключили договор, устанавливающий иные размеры вознаграждения, заключение такого договора решает данную проблему. Действительно, в постановлении сказано: «Данные ставки, порядок и сроки применяются в случае, если работодатель и работник не заключили договор, устанавливающий размер, условия и порядок выплаты вознаграждения за служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец».

Основания для более высокого уровня вознаграждения лишь на первый взгляд видятся весомыми.

Предположительно, получение охранного документа позволяет предприятию наладить выпуск продукции и получить прибыль. На самом деле, все не столь просто.

Во-первых, ОИС сам по себе, как правило, прибыли не приносит. Необходима организация производства и реализации продукции. Расчеты конкретной доли прибыли именно за счет данной ОИС крайне субъективны.

Во-вторых, в эту продукцию могут входить не только другие материальные затраты, но и другие ОИС, поэтому может возникнуть проблема распределения вклада ОИС в прибыль.

Следует учесть и следующий аспект. Если ОИС ставится на баланс по стоимости, превышающей себестоимость, то формально правообладатель получил прибыль, с которой следует уплатить налог, но не только. Если правообладатель получил прибыль, то следует также заплатить и вознаграждение авторам в размере доли, предусмотренной законом или договором между авторами и правообладателем. Следовательно, нельзя ставить на подотчет ОИС по стоимости, которая превышает себестоимость.

В себестоимость должны входить следующие расходы: а) оплата трудозатрат авторов по созданию ОИС; б) оплата гос. пошлины; в) оплата экспертизы по существу; г) оплата за выдачу патента; д) выплата авторского вознаграждения. Отметим, что пункты «а» и «д» не идентичны. Действительно, если авторы работают на предприятии-правообладателе, и разработали ОИС в рабочее время в порядке служебного задания, то, следовательно, уже на стадии готовности ОИС к отправке заявки на оформление правообладания авторы уже получили сполна оплату за выполненную работу. Вознаграждение следует рассматривать как оплату сверх затрат, то есть как премию. При этом премия все же входит в затраты. Поэтому чем выше премия авторскому коллективу, тем меньше для нее формальных оснований. Действительно, премия выплачивается в момент, когда еще никакая прибыль не получена, премия входит в расходную часть, и балансовая стоимость учитывается лишь по затратам.

### **ДИССЕРТАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТЕЙ И ОИС**

В положении о присуждении ученых степеней говорится о необходимости опубликования результатов, которые входят в диссертацию.

При этом не оговорено доленое участие диссертанта в этих ОИС, то есть, например, если коллектив из десяти авторов оформит программные продукты на четыре программы, то формально может быть защищено десять кандидатских диссертаций по этому результату. Это отсутствие формальных требований на минимальный вклад распространяется и на прочие публикации. Разумеется, требуется оформление выписки, в которой указан вклад автора во все публикации, которые перечисляются в автореферате и в диссертации как основные публикации по теме диссертации. Однако этот документ составляется произвольно, контроля объективности этого документа формально нет.

Во-первых, при подаче документов на оформление правообладания, по действующим правилам необходимо указывать не только долю вклада каждого соавтора, но также и указывать конкретно, в чем именно этот вклад состоит. Например, нельзя указывать вклад как «постановка задачи», «общее руководство исследованием» или «оформление документов правообладания». При оформлении заявки на

программный продукт вклад должен быть сформулирован в терминах видов работ, которые действительно необходимы для создания программных работ, например, «разработка алгоритма», или «разработка кодов программы», или «тестирование программы и модификация кодов программы». В заявках на патенты (изобретения, полезные модели) также требуется указание авторского вклада каждого автора, и также недопустимы указанные общие фразы о руководстве и о постановках задачи. Фактически авторский вклад следует указывать в терминах фрагментов формулы изобретения. В любой формуле изобретения имеется отличительная часть устройства. Анализ и критика прототипов изобретения необходима для оформления заявки, но эта деятельность формально не является изобретательской, то есть она не ведет к созданию ОИС. Такую деятельность следует отнести к деятельности, направленной на оформление документа правообладания. Если, например, в формуле изобретения имеется два отличия предлагаемого устройства от прототипа, то эти два отличия следует разделить в соответствующих долях на всех авторов изобретения.

При указании авторского вклада в справках о вкладе соискателя ученой степени чаще всего используются фразы «постановка задачи», «общее руководство исследованием» и так далее. Следует признать, что, хотя такие формулировки звучат привлекательно для диссертационного совета, но они противоречат формулировкам на заявке на регистрацию ОИС.

В отношении обычных публикаций (научных статей) в авторских справках достаточно часто составляются заключения о том, что вклад соискателя «решающий», или что он состоит «в постановке задачи и в общем руководстве работами», однако никто не контролирует, не исключают ли такие заключения друг друга. В особенностистораживают подобные заключения в отношении статей, где соавтором статей является научный руководитель или научный консультант. Получается, что соискатель ставил задачу и руководил исследованием, а научный руководитель (консультант) работал под руководством соискателя, и при этом выполнял далеко не самую важную работу. Напрашивается в этом случае вопрос, почему руководитель (консультант) в такой степени не скромнен, что при столь несущественном вкладе в публикацию своего подопечного он все же не исключил себя из состава соавторов.

В особенности нелогичными являются публикации на молодежных конференциях работы далеко не молодых авторов. Даже соавторство научных руководителей в данном случае видится нелогичным, ведь если конференция молодежная, то и надо докладывать на ней результаты работы именно молодежи. И если даже статья описывает результаты работы большого коллектива, то, по-видимому,

целесообразно было бы выделить строго те результаты, которые получены непосредственно молодыми авторами,

Почему же этого не происходит? Причина состоит в том, что основной фактор оценки деятельности ученых и преподавателей опирается на публикации. Поэтому каждый научный руководитель (консультант), который отказался бы от соавторства в статье своего ученика, не просто совершил бы акт научной порядочности, благородства или справедливости, но при этом высказал бы неоправданную щедрость и даже недалекость. Научный вес каждого ученого и преподавателя оценивается количеством публикаций и показателями цитирования этих публикаций. Если публикация ценная, то ее авторы могут рассчитывать на то, что на нее будут ссылаться. А ссылки на публикацию влияют на индекс Хирша ученого. В этой ситуации каждый потенциальный соавтор заинтересован буквально в каждой публикации.

### О КАЧЕСТВЕ ПУБЛИКАЦИЙ

Качество публикаций оценивается отнюдь не по их содержанию, а по вхождению в те или иные индексируемые базы данных. Среди этих баз наиболее известные по техническим наукам следующие: *Scopus*, *Web of Sciencs* и РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).

Для начала надо понять, что база данных – это всего лишь электронный справочник – хранилище, и не более того.

Первые две базы данных включают только англоязычные публикации, вхождение в базу РИНЦ ценится не слишком высоко. Фактически отечественная наука становится зависимой от англоязычных и неотечественных справочников. Решение о включении статей в эти справочники принимают люди, не являющиеся специалистами по тематикам статей.

Имеются следующие пути вхождения в эти базы: а) опубликование статей в журналах, входящих в эти базы полностью; б) опубликование статей на конференциях, труды которых полностью входят в эти базы; в) опубликование статей на конференциях, труды которых избирательно включаются в эти базы; г) обращение к специальным службам, которые за определенную плату обеспечивают опубликование с соответствующей индексацией.

На последнем пути появилось чрезвычайно много предложений, среди которых, несомненно, встречаются и недобросовестные. Недобросовестность в этой деятельности бывает, как минимум, двух видов: а) опубликование любых статей при условии достаточной оплаты; б) невыполнение обязательств (мошенничество), то есть сбор средств в авторов без последующего опубликования или с опубликованием без индексирования в соответствующей базе.

Если имеется возможность опубликования любых (даже не существенных для развития науки) материалов в указанных базах, это

указывает на то, что опубликование в этих базах не должно восприниматься как показатель высокого качества этих публикаций. Если же такой возможности нет, то правоохранительным органам пора заинтересоваться многочисленными предложениями решения проблем с опубликованием за «умеренную плату», которая составляет в среднем 500 долларов США и более за одну публикацию.

Получается, что отечественный бюджет выделяет средства на развитие отечественной науки, но для того, чтобы эти средства были выделены эффективно, требуется подтверждение результативности этих исследований этими публикациями. Поэтому получатели средств вынуждены тратить часть полученных средств на указанные публикации.

Следовательно, распорядители бюджетными средствами дают деньги не только на исследование, но и на доказательство самим себе этой результативности. То есть в случае эффективных платных услуг по опубликованию распорядители бюджета финансируют обман самих себя.

В ряде случаев к публикациям предъявляются формальные требования.

1. Требование качественного английского языка. Очевидно, что прямой зависимости выполнения этого требования с качеством статьи нет. На хорошем английском языке можно написать совершенно ненаучную статью. Также весьма высококачественная научная статья может не получить качественного перевода на английский язык. Даже самые важные научные результаты без качественного перевода на английский язык будут отвергнуты англоязычными журналами или конференциями и не войдут в соответствующие базы.

2. Требование цитирования зарубежных источников, интернет-источников, патентов, диссертаций и так далее. Ограничение самоцитирования некоторой заранее предписанной долей (например, не более 10 %). В целом данные требования относительно оправданы, но статьи статьям рознь, и зачастую указанные требования затрудняют написание адекватной статьи.

3. Требование ограниченного объема (как правило, не более 8 страниц) или взимание дополнительной платы за лишние страницы. Зачастую форматирование статьи предполагает широкие поля, или малый размер страницы, или крупный шрифт статей, а иногда сочетание этих факторов. Зачастую также требуется дательная информация об авторах, а также накладывается минимальное ограничение на размер аннотации. Также для отчетности автору необходимо ввести ссылку на поддержку гранта. Также в статье обязательно требуется структурирование: введение, постановка задачи, собственно результаты заключение. В совокупности этих требований, а также с учетом необходимости высокого качества иллюстраций, собственно на

оригинальную часть статьи остается исключительно мало места. Поэтому надо не только ясно и аргументировано излагать результат, но еще и обеспечить краткость, сохранив доказательность.

4. Иногда задается ограничение на количество ссылок, причем также сохраняется требование к проценту самоцитирования. Например, если допускается не более 15 ссылок, а самоцитирование не более 10%, то получается, что авторы могут сослаться только на одну свою работу. Если, к примеру, описывается программно-аппаратное средство, то, сославшись, например, на собственную статью с описанием принципов действия устройства, авторы уже не могут сослаться на статью или патент, связанные с управляющим устройством для системы или с методами сбора и обработки данных, или на программный продукт, обеспечивающий работоспособность устройства.

Таким образом, приходится признать, что зачастую требования к публикациям не вполне обоснованы и (или) необоснованно снижают возможности авторов представить материалы наилучшим способом.

Можно возразить, что никто не мешает авторам выслать те журналы или конференции, условия опубликования в которых в наибольшей мере отвечают их пожеланиям. Но необходимость достижения соответствующего рейтинга с учетом порой ограниченных средств и больших сроков рассмотрения статей и сроков включения их в указанные базы, приходится признать, что авторам необходимо проявлять крайнюю гибкость и определенные таланты в написании и продвижении статей в соответствующие издания.

## О ЦИТИРОВАНИИ

Количество цитирований напрямую указывают с важностью публикаций.

При этом за рамками рассмотрения остается вопрос контекста цитирования. Зачастую вклад в рейтинг дает не только цитирование, но и самоцитирование.

Примечательно, что если статья содержит заведомо спорные утверждения, то критика такой статьи также потребует ссылки на неё, что понимает её индекс цитирования. То есть те, кто критикуют статью, невольно поднимают её значимость и научный авторитет её автора.

Например, нет такой возможности, как «отрицательное цитирование», то есть, чтобы при ссылке на указанную статью рейтинг её не повышался, а снижался.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Таким образом, ясно, что научные достижения оцениваются, в основном, по следующим критериям.

1. Рейтинг журналов (или конференций), где опубликованы статьи по этим достижениям.

2. Количество цитирований статей вне зависимости от контекста цитирования.

3. Количество объектов интеллектуальной собственности.

Практически не принимаются во внимание следующие факторы:

1. Удельный вклад автора в данную публикацию (и конкретизация его вклада, кроме случаев заявок на патенты и зарегистрированные программные продукты).

2. Уровень объекта интеллектуальной собственности (программный продукт, патент на полезную модель или патент на изобретение).

3. Существо цитирований публикаций.

Следует признать, что фактически оценка публикации осуществляется редакционной коллегией при принятии статьи в соответствующий журнал. Если статья принята в журнал с высоким рейтингом, то это как бы доказывает важность полученных результатов. Если же статья отклонена, это якобы доказывает ее недостаточную важность. Но если авторы проявят настойчивость и добьются опубликования этой статьи в другом журнале, то оказывается, что все же данная статья достаточно важна.

Обсуждение научной общественностью результата осуществляется уже после того, как этот результат получил статус общепризнанного. Если статья опубликована в рейтинговом журнале, то любое обсуждение лишь повышает значимость статьи, но не может снизить эту значимость. Обратное, если статья опубликована в журнале с недостаточным высоким рейтингом, то никакое обсуждение этой статьи не повысит её рейтинга столь сильно, как если бы статья была опубликована в журнале с высоким рейтингом.

Повторное опубликование статьи в журнале с более высоким рейтингом, разумеется, невозможно.

Эта схема, возможно, была единственно разумной в ту пору, когда отказ от опубликования был целесообразен с целью экономии бумаги (и, возможно, времени читателей), и поэтому чрезвычайно высока была роль коллектива редакционной коллегии. Но и в этом случае вопрос опубликования зачастую зависел от мнения одного рецензента, в редких случаях от мнения двух или трех рецензентов.

С развитием сети Интернет вполне доступен другой метод апробации статей на их научную ценность.

Во-первых, постепенно утрачивает актуальность решение вопроса о том, допустимо ли опубликование статьи. Действительно, если автор дал себе труд написать статью, то это еще не означает, что её следует публиковать. Но если затрагиваемые автором вопросы актуальны, точка зрения автора нова, и аргументы в защиту этой точки зрения новы, то вместо того, чтобы единолично и кулуарно оценивать эту статью силами рецензентов, возможно, более

целесообразно было бы опубликование статьи на соответствующем сайте или в разделе «дискуссии» или «дискуссионные публикации».

Следует отметить, что большинство действительно новых научных достижений далеко не сразу были приняты научной общественностью, а прошли через ряд широких дискуссий. Часть публикаций впоследствии были признаны ошибочными, другие же публикации, которые изначально воспринимались как ошибочные, впоследствии были признаны верными.

Поэтому широкое использование средств массовой информации, прежде всего Интернета, как дискуссионную площадку для апробации новых идей, может послужить новой и эффективной мерой для развития науки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Henry Cavendish.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Cavendish](https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish)
- [2] Leo Szilard. [https://en.wikipedia.org/wiki/Leo\\_Szilard](https://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Szilard)
- [3] Principles of the Sewing machine working (*In Russian*):  
[http://pikabu.ru/story/printsip\\_raboty\\_shveynoy\\_mashiny\\_161731](http://pikabu.ru/story/printsip_raboty_shveynoy_mashiny_161731)
- [4] Sewing machine.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing_machine)



**Вадим Аркадьевич Жмуд** – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.  
E-mail: [oaonips@bk.ru](mailto:oaonips@bk.ru)

### About Patentability of Innovative Ideas for Products of Mass Production

VADIM ZHMUD

*Abstract.* The need for innovative ideas for the development of the industry is evident. It is widely known that the patenting of ideas contributes to the protection of copyright in the profit from the sale; however, this issue has its own peculiarities. This paper discusses some of these features and gives examples of innovative ideas, difficult for patenting. The paper gives recommendations on possible ways of overcoming these problems. This article is debatable.

*Key words:* innovation, patents, patentable, innovative ideas, mirror screen, a matte screen

#### REFERENCES

- [5] Henry Cavendish.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Cavendish](https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish)
- [6] Leo Szilard. [https://en.wikipedia.org/wiki/Leo\\_Szilard](https://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Szilard)
- [7] Principles of the Sewing machine working (*In Russian*):  
[http://pikabu.ru/story/printsip\\_raboty\\_shveynoy\\_mashiny\\_161731](http://pikabu.ru/story/printsip_raboty_shveynoy_mashiny_161731)
- [8] Sewing machine.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing_machine)

**VI. Дискуссии. Форум.  
К сведению авторов.**



### Содержание раздела:

- ❖ К.К. Карпов. О новых представлениях физической сути кванта М. Планка, света, излучений и строения элементарных частиц. (Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 114–130.
- ❖ В.А. Жмудь. Дисперсионная трактовка эффекта Хаббла. (Новосибирск, Россия). Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 131–148.
- ❖ Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия». Автоматика и программная инженерия. 2016. № 1 (15). С. 149–151.

# О новых представлениях физической сути кванта М. Планка, света, излучений и строения элементарных частиц

Карпов К.К., канд. воен. наук, ст. научн. сотр.

**Аннотация:** Современная физика, и в первую очередь квантовая, а также физика элементарных частиц, полна противоречий и неопределённостей. Многие важнейшие понятия размыты или не определены вообще. Это понятия «массы», «спина», «фотона» и др. Огромные средства тратятся на ускорители, на эксперименты, а структура элементарных частиц, и в первую очередь электрона, до сих пор так и не определена. В статье показано, что причина этого кроется в том, что изначально был не понят истинный, глубинный смысл величайших открытия XX века – открытия М. Планком в 1900 г. квантов энергии и действия. Показано, что минимально возможный квант энергии Планка ( $h$ ), по своей сути, есть новая элементарная частица мироздания с массой  $7,36 \cdot 10^{-51}$  кг, имеющая свою структуру и характеристики. И именно из неё состоят все излучения, в т. ч. и свет, и все элементарные частицы. Признание кванта  $h$  Планка частицей, позволяет не только правильно понять устройство и суть света, излучений и частиц, но помогает раскрыть и суть всех физических сил – электромагнитных, магнитных, и даже гравитационных, суть изменения электроном (нуклоном) своей массы и энергии в ускорителях. Позволяет показать реальную физическую суть массы и спина частиц, определить суть и параметры скорости света и даже гравитации. Позволяет раскрыть физическую суть формулы  $E = mc^2$  т. е. показать суть устройства всех частиц материи, как сложно вращающихся масс, обладающих удвоенной кинетической энергией.<sup>1</sup>

**Ключевые слова:** элементарные частицы, фотон, квант, гравитация

<sup>1</sup> В разделе «Дискуссии» публикуются статьи даже в случае несогласия редакционной коллегии с позицией автора и содержанием статьи, даже при отрицательном результате рецензирования этих статей. Данная статья опубликована в авторской редакции (кроме редакционных правок в отношении стандартов оформления, грамматики и т. д.). Восклицательные знаки не одобрены, но сохранены. Редакционная коллегия приглашает читателей направлять свои отклики на данную статью, как и на любые другие статьи этого раздела. Отклики могут предоставляться в произвольной форме, включая ответные статьи. Анонимные или оскорбительные отклики не публикуются (Здесь и далее примечания редакции)

## 1. О ПРИРОДЕ СВЕТА, «ФОТОНЕ», ФОРМУЛЕ « $E=h\nu$ » И ФОТОЭФФЕКТЕ А. ЭЙНШТЕЙНА

Сегодня в физике принята корпускулярно-волновая «теория» света, но без всякой его природы и смысла. «Свет – это единство дискретности и непрерывности» [1, с. 274]. Однако, корпускулярная часть фактически ничем не подкреплена, и свет считается «электромагнитными волнами», а сами «волны» никак не определены. **Википедия:** «Свет — электромагнитное излучение», а «Электромагнитное излучение (волны)— распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля». «Электромагнитное поле — фундаментальное физическое поле». Но, само «поле» никак не определено! И это не может быть правдой, т. к. по сути, возмущение «поля» - это возмущение вездесущей и всеобъемлющей «среды», ранее называвшейся «эфиром», и от чего физика давно отказалась, т. к. он так и не был обнаружен! Т. е., полагается, что свет – это аналог распространению волн в воде, или акустических в воздухе. Но, «эфир» не обнаружен! Его нет! Самой эфирной среды не существует! Физика вынуждена прибегать к этой антинаучной уловке, т. к. принятая волновая «теория Максвелла» может реализоваться только в среде, только в «эфире»! Следовательно, принятый подход так называемого «поля» изначально и полностью несостоятелен, и абсурден. Принятый «дуализм света» также ничего не проясняет, а ещё больше запутывает: к изгибающимся «напряжёностям» Максвелла добавили так называемые «частицы» – «фотоны» с энергией  $E_{\phi}=h\nu$ , где  $h$  – постоянная Планка (Дж·с), а  $\nu$  – частота ЭМ волны (Гц). Но, по сути, «фотон» - это не частица, а та же «волна», но только её порция. Полный тупик. Симбиоз несуществующих сущностей! Таким образом, сегодня, в XXI веке, свет и его природа никак не определены. Что же физически несёт энергию света в пространстве? **Есть ли материальный носитель света, его энергии? Носителя нет. Частица или волна?** Ответа нет. Вот, у электрического тока есть носитель – это частицы: электроны и ионы, а у света и излучений сегодня, в XXI веке, их нет!

Разве это не нонсенс?

И понятие «фотона», как частицы света, полностью несостоятельно, т. к. выражение « $E_{\text{ф}} = h\nu$ » - есть энергия, излучаемая телом (электроном - осциллятором) в секунду, за секунду, т. к.  $\nu$  (частота) – количество колебаний в секунду! Фотон не может длиться секунду! <sup>2</sup> И при таком явно ошибочном подходе становится абсолютно непонятно, какие «одиночные фотоны» излучают, например, фемтосекундные лазеры? Уже созданы лазеры с длительностью излучения в 50 фемтосекунд, т. е.  $50 \cdot 10^{-15}$  с. При излучении синего цвета, с частотой  $6,4 \cdot 10^{14}$  Гц и длине волны 468 нм, одно колебание (один период) длится 1,5625 фс. Значит, общее количество периодов в импульсе будет равно  $n = 50 / 1,5625 = 32$  периода, а энергия «фотона-импульса» ( $E_{\text{и}} = h\nu t$ , где  $t$  – длительность импульса, с), составит  $1,32 \cdot 10^{-13}$  эВ. А по формуле энергии « $h\nu$ » периодов должно быть ровно  $6,4 \cdot 10^{14}$ , т. е. равное количеству колебаний в секунду и энергия «одиночного фотона» будет  $E_{\text{ф}} = 2,67$  эВ, что на 13 порядков больше. Но, фотон не может длиться секунду и иметь энергию в 2,67 эВ! Введение «фотона» не разрешило основных противоречий и ничего не добавило к природе света. Мир физики был просто «привязан» к электромагнитной «волне» Максвелла. Даже многочисленные опыты, показывающие, что свет реально обладает квантовыми, корпускулярными свойствами, сильно не поколебало эту уверенность. Поэтому, даже квантовые свойства и проявления света, убедительно доказанные многочисленными экспериментами, были опять наложены на волновую природу света. А произошло это потому, что волновые свойства света (дифракция, интерференция) приняли за волновую природу этого сложного явления. Методологическая ошибка в том, что свойство, которое есть и явно наблюдаются у света, приняли за природу, за суть явления. Но, волновые свойства, явления дифракции и интерференции, - это ещё не доказательство волновой сути. Вот, электрон, это однозначно частица, но тоже проявляет волновые свойства. Значит, проявление свойств, это ещё не есть сама суть. И Луи де Бройль, чисто формально приписавший волновую природу всем предметам мира, не спас положения, ни на грамм не прояснил суть излучений и частиц, а

<sup>2</sup> Нормирование величин в физике даёт новую удельную величину, отнесенную к единице, например, времени, площади и так далее. Так вес преобразуется в давление, перемещение – в скорость, и т. д. Использование понятия энергии на единицу времени даёт мощность, которую можно трактовать как «энергия за одну секунду». Это совершенно не связано с длительностью процесса, например, мощность 1000 Вт/с вовсе не означает, что процесс длится 1 с и в нем выделено 1000 Вт, речь идет лишь о соотношении. Это может характеризовать и процесс, который, например, длится 0,001 с и при котором выделяется 1 Вт энергии.

только ещё больше всё запутал. Как отмечено, энергия «фотона»  $E = h\nu$  – это интегральная энергия, излучённая телом (атомом) за 1 секунду, т. е. это мощность потока и её необходимо измерять не в единицах энергии (эВ, КэВ, МэВ), а мощности – эВ/с, КэВ/с, МэВ/с. И надо писать и говорить не о «фотоне», допустим, синего цвета с  $\nu = 6,4 \cdot 10^{14}$  Гц и энергией  $E = 2,67$  эВ, а о мощности потока ( $N$ ) в 2,67 эВ/сек, который соответствует диапазону синего цвета. Эти рассуждения полностью относятся и к рентгеновскому и гамма излучению. Это непрерывные потоки мощности, а не виртуальные фотоны! Следовательно, нет в природе фотонов, нет ни «одиночных», ни, тем более, так называемых «запутанных». Их нет никаких! И выражение « $E = h\nu$ » не может быть выражением для энергии фотона, т. к. это мощность потока ( $N$ ), и она должна измеряться в Дж/с. Из сказанного вытекает однозначный вывод: «фотон» - это пустая искусственная конструкция, не имеющая никакого физического наполнения. Парадокс, «квантовая теория» света вроде бы есть, а по самой сути, этих «квантов света» нет! И ошибочная трактовка формулы « $E = h\nu$ », есть ни что иное, как искусственная попытка связать корпускулярные характеристики излучения - массу и энергию кванта ( $m$ ,  $E$ ), с волновыми - частотой и длиной волны ( $\nu$ ,  $\lambda$ ).

И именно поэтому, данное А. Эйнштейном объяснение фотоэффекта неверно, и Нобелевская премия ему «за открытие закона фотоэлектрического эффекта» была дана не заслуженно. Удивительно, но как можно не понимать простого: электрон не вылетает из металла не потому, что мало поступает энергии света, а потому, что недостаточна именно мощность потока! Здесь принципиально то, что энергия, в отличие от мощности, может быть накоплена! И при малой энергии «фотонов», их энергия аккумулировалась бы электронами до необходимого уровня. Но, этого не происходит, т. к. нет именно процесса «накопления», т. к. мощность, в отличие от энергии, не может накапливаться. Аналог, это, например, чайник, который можно закипятить и на малом огне, но потребуется больше времени. Или, большую работу можно выполнить и понемногу, если её разбить на части (поднять наверх поддон кирпичей по кирпичу и пр.). Да и в известном выражении  $h\nu = A + mv^2/2$ , записан именно баланс мощностей, а не энергий, т. к. речь идёт о балансе энергий и работ за секунду. И все расчёты кранов делаются именно по мощности двигателя, т. к. с меньшей мощностью он не оторвёт и не поднимет данный груз, а работу большую и он выполнит, но затратит много времени.

Никто не хочет дать себе труд вникнуть в суть выражения « $E = h\nu$ », как выражения именно мощности потока. Из двух сомножителей « $h$ » и « $\nu$ », частота  $\nu$  - есть

производительность процесса, процесса любого, а в данном случае процесса выделения, и, соответственно, распространения света. Во многих процессах, где они носят периодический характер, эта периодичность – производительность - выражается в **штуках в единицу времени**: пульс в минуту, деталей в секунду, подъёмов в час и т.д. И смысловой нагрузки сути явления, частота  $\nu$ , как производительность, не несёт, а её несёт в данном случае именно величина « $h\nu$ » - Постоянная Планка.

У самого **М. Планка величина « $h$ » имеет два смысла**, и, соответственно, **два измерения: как квант действия, и как квант энергии** (сразу отметим, что глубокий смысл «кванта действия» и сегодня так и не понят физикой). Общепринято величину « $h$ » трактовать или как некий коэффициент - «**постоянную Планка**», или, как «**квант действия**» с размерностью **энергии на время** (Дж·с). Но, это несколько размытая трактовка. Как можно получить энергию  $E$ , умножая некое «действие» на количество чего? Этих действий? Но, очевидно, что по самой сути, по физике процесса, по сути самой идеи М.Планка, да и по форме записи  $E = h\nu$ ,  $h$  - это энергия одной порции, одного периода (Дж), а  $\nu$  – можно считать, как количество порций, периодов, **в штуках** (в рассматриваемую единицу времени – секунду). тогда  $E = h\nu \rightarrow (\text{Дж} \cdot \text{шт}) \rightarrow (\text{Дж})$ . А если мы **ищем мощность** излучения ( $N$ ), в т. ч. и света, то надо **энергию одного периода умножать на частоту**, т.е. на количество колебаний в секунду:  $N = h\nu \rightarrow \text{Дж} \cdot \text{Гц} \rightarrow \text{Дж/с}$ .

Но, до сих пор, никто не знает, есть ли материальный носитель у этой волны, у света, что физически несёт энергию (значением в один  $h = 4,135 \cdot 10^{-15}$  эВ) в этом одном «периоде» колебаний?! Гениальные открытия М. Планка сегодня не поняты физикой и искажены. По сути, физика **свела самое выдающееся открытие XX века – открытие М. Планком квантов энергии и действия, к некой «постоянной  $h$ », к «коэффициенту  $h$ », к простому значку, выхолостив всю гениальную суть и сам глубинный смысл эпохального открытия!**

**Масса «фотона».** Считается, что фотон не имеет массы покоя, а обладает массой в движении. Принято, что при его скорости  $V = C$ ,  $m_{\phi} = E_{\phi} / C^2 = h\nu / C^2$  (кг). А т. к. эту массу составляют (несут)  $\nu$  периодов в секунду, то одно колебание, **один период**, имеет массу  $m_{\pi} = h\nu / \nu C^2 = h / C^2$  (кг), т. е. массу «кванта Планка» -  $m_h$ , где энергия кванта  $h$  численно равна «постоянной Планка» (Дж). Тогда, масса «фотона»  $E_{\phi} = m_h \cdot \nu$ , где  $\nu$  - количество колебаний в секунду (шт). **Т. е. носителем массы «фотона» является квант энергии Планка!** Значит, даже по принятым сегодня взглядам, масса у света, у «фотона» есть, и она равна суммарной массе частиц Планка, излучённых за 1 секунду, и заключена оно

именно в **массе кванта  $h$** . Именно квант Планка и есть носитель и энергии, и массы света. **И виртуальный «фотон», по своей сути, оказался совокупностью квантов Планка!** Но, этого очевидного никто признавать не хочет. А истоки недоразумений и непониманий кроются в трактовке этого самого величайшего открытия, который сделал М. Планк в 1900 г.

## 2. ГЛУБИННЫЙ СМЫСЛ «КВАНТА ДЕЙСТВИЯ» И «КВАНТА ЭНЕРГИИ» М. ПЛАНКА

Все авторы признают, что *«изучая механизм излучения теплоты телами, Планк получил закон распределения энергии в спектре абсолютно чёрного тела и обосновал этот закон, введя представление о квантах энергии и квантах действия. Для того чтобы ввести вероятность в закон излучения, Планку пришлось принять гипотезу, что каждый осциллятор излучает и поглощает энергию «конечными порциям», дискретно, а не непрерывно. По теории Планка, энергия кванта  $E$  прямо пропорциональна частоте света  $E = h\nu$ »*. Но, в то время (1900 г) не было [понятия]<sup>3</sup> фотонов! Это понятие появилось только в 1926 г., и Планк не говорил, что энергия излучается «фотонами», тем более с энергией  $E = h\nu$ ! Он говорил, что энергия излучается «квантами»! Т. е. принятие за квант Планка порции « $h\nu$ » - есть полное искажение его теории «толкователями» и интерпретаторами. В открытые им «квант энергии» (Дж) и «элементарный квант действия» (Дж·с) он вкладывал другие смыслы. И в пресс-релизе Нобелевского комитета сказано: *«В знак признания услуг, которые он оказал развитию физики своим открытием квантов энергии»*. Но, к большому сожалению, и сегодня, когда уже прошло 115 лет с момента открытия М. Планком его квантов, причём и «квантов энергии» и «квантов действия», не только нет правильного понимания сути и всей глубины этого эпохального открытия, а есть набор нелепостей и искажений! А отсюда и трагизм современной физики. И размерность своего «элементарного кванта действия» (Дж·с) он получил не из выражения для энергии т. н. «фотона» - « $h\nu$ », а из другого - **из соотношения для излучения: « $(\lambda_{\max} / C) kT = \text{Const} = h$ », где  $C$  - скорость света в вакууме,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - абсолютная температура,  $\lambda_{\max}$  - длина волны излучения и  $h$  – постоянная, названная его именем»** [10].

а) **Рассмотрим «квант энергии» Планка.** Со времён после Планка, вся физика приняла и считает, что энергия излучённого кванта равна « $h\nu$ », приписывая это М. Планку. Но, такая трактовка, такое выражение, такое содержание кванта энергии не выдерживает критики. Это

<sup>3</sup> Слово «понятия» вставлено редакцией.

принципиальная ошибка и корень всех зол и заблуждений. Сам М. Планк этого не предлагал! Поэтому следует сделать следующие рассуждения:

**Во-первых**, как уже было уже отмечено, что « $E = h\nu$ » – это есть выражение **мощности излучения**, мощности потока, а не энергии. Т. е., это явная, элементарная и вопиющая ошибка.

**Во-вторых**, если квант энергии равен « $h\nu$ », тогда «квант» не есть собственно квант, как фиксированная порция излучения, а он меняется, он разный, он переменный, он зависит от частоты, т. е. он размыт, и размыт очень сильно.

**В-третьих**, если смотреть глубже, тонкость в том, что **в своём пределе**, когда излучается минимально возможная «порция энергии  $h\nu$ », что возможно при частоте в  $1 \text{ Гц}$ , зависимость приобретает вид  $E=h$  (Дж) и «квант действия  $h$ » приобретает совсем другой смысл, другое наполнение – он становится минимальным **квантом энергии!**<sup>4</sup> Следовательно,  $h$  – это минимально возможная порция энергии, **истинный квант**, равный  $4,135 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$ . Именно этот квант и открыл великий М. Планк! И иногда, некоторые авторы, применяют такое выражение: «Квант – это минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом». Или «энергия будет принимать не любые непрерывные значения, а лишь дискретные значения, кратные некоторой единичной энергии». А минимальная, единичная порция энергии и есть  $h$  (Дж)! А это всё меняет!

**В-четвёртых**, правильное понимание выражения « $E = h\nu$ », исходя из формы её записи, состоит в том, что оно с предельной очевидностью, прямоотой и простотой утверждает, что  $h$  (квант, как носитель энергии) несётся, выделяется, повторяется с частотой  $\nu$ ! И именно он, **единичный квант энергии  $h$  Планка**, а не «постоянная Планка», и есть истинный носитель света, и его массы, и энергии.

Но, к сожалению, этого никто не понял. Все продолжают считать квантом излучения порцию « $h\nu$ » и именно потому, что это как-то спасает волновую теорию света Максвелла и привычные, глубоко укоренившиеся взгляды на свет. И сам М. Планк, до конца придерживаясь этого, пусть и фиктивного, дуализма, боясь далеко отойти от классических воззрений и теорий. «Он вывел формулу излучения, скомбинировав две формулы: одну, основанную на гипотезе о том, что энергия осциллятора **меняется квантами**, и другую, опирающуюся на

*электродинамику Максвелла, предполагающую непрерывное изменение энергии. Это же внутреннее противоречие было свойственно всем выдвинутым в то время квантовым теориям, стремившимся описать свойства осциллятора. Как можно совместить в одном и том же умозаключении две прямо противоположные посылки? А между тем по примеру Планка, а также вследствие не определившегося еще ясно различия в понятиях, физики в своей практике манипулировали одновременно и классическими и квантовыми представлениями, что очень беспокоило теоретиков» [9].*

**б) Рассмотрим «квант действия» Планка.** О физической сути этого понятия, введённого Планком, практически никто из исследователей не говорит. А, как оказалось, этот «квант действия» имеет важнейший и глубинный смысл, указывающий на **структуру излучателя света**, излучателя этого кванта энергии, т. е. электрона и нуклона. Другими словами, если существует квант света (квант минимальной энергии), распространяющийся со скоростью света, то осциллятор, который его выделяет, должен иметь соответствующую структуру, с тем, чтобы обеспечить соответствующий акт «действия», т. е. по сути, «выстрел» кванта света ( $h$ ) вовне, придав ему скорость света.

Как отмечено в [10] «Из истории получения размерности постоянной Планка известно, что, ликвидируя так называемую "ультрафиолетовую катастрофу", Планк пришёл к соотношению для излучения:  $(\lambda_{\text{макс}} / C) kT = \text{Const} = h$ , где  $C$  - скорость света в вакууме,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - абсолютная температура,  $\lambda_{\text{макс}}$  - длина волны излучения и  $h$  - постоянная названная его именем. В приведенном соотношении левая часть имеет размерность [время  $\times$  энергия], что назвали "действием". Исходя из этого, для  $h$  определили размерность [Джс] и назвали эту величину "квант действия". Если раскрыть размерность «постоянной действия», то она будет  $г \cdot см^2 / с$ . На такую размерность для постоянной Планка обращал внимание **Н. Бор**, записав соотношение:  $J = mVr = h / 2\pi i$ , где  $m$  - масса,  $V$  - скорость,  $r$  - радиус орбиты. Эту размерность имеет - "момент количества движения". К тому же известен и закон постоянства момента количества движения, что не маловажно для такой константы, каковой является постоянная Планка. Известно, что закон сохранения количества движения относится к важнейшим законам сохранения, справедливым для любых **изолированных систем**. И, наконец, "большинству элементарных частиц присущ **собственный**, внутренний момент количества движения – **спин**. Приняв такую размерность, постоянную Планка следовало бы назвать «квантом момента количества движения».

<sup>4</sup> Частота  $1 \text{ Гц}$  не является пределом, она выбрана произвольно. Точно так же можно выбрать частоту  $0,01 \text{ Гц}$ , или любую сколь угодно маленькую. В соотношении энергии кванта будет получено соответственно меньшее значение. Таким образом, утверждение, что  $\nu = 1$  дает минимальное значение для  $E$  не обосновано, поскольку может быть взята любая, сколь угодно малая величина  $\nu$ .

Т. о., своим «квантом действия» Планк предвосхитил, по сути, некоторым образом, описал материальную структуру тех элементарных частиц, которые и выделяют его **квант энергии  $h$** , т. е. свет, отметив их предполагаемую качественную структуру, как **вращающихся замкнутых систем, обладающих спином**, т. е. собственным моментом количества движения, что даёт им способность и не просто выделять кванты, но и придавать им огромную скорость света. А сам механизм - **механизм отщепления** – есть вращение с огромными круговыми скоростями. Следовательно, М. Планк не только открыл явление дискретности излучения энергии, не только нашёл постоянную этого процесса - минимальную энергию этого кванта энергии  $h$  (*Дж*), но гениально предсказал облик и материальную суть источников квантов (электрона и нуклона), как **вращающихся замкнутых систем**, обладающей собственным моментом количества движения – **спином**, причём **одинаковым для них** и равным его же «постоянной действия»  $h$  (*Дж·с*). Но, этот фундаментальный вывод из его теории мировая физика сделать так и не смогла, что привело к катастрофе: к неправильному пониманию устройства материи на уровне электрона, нуклона, света и излучений. И сегодня истина ищется там, где её нет и быть не может. Мир устроен по-другому. И основы его устройства гениально предугадал великий физик – Макс Планк, обосновав и определив, как квант энергии, так и квант действия, численно равных его постоянной! Именно его теория, его взгляды – самые продуктивные. Но, научный мир его до конца так и не понял, используя лишь малую часть его гениальных открытий и догадок.

Таким образом, как показано выше, энергия излучается вовне не просто порциями, квантами, а именно **единичными квантами**, величину которых он и определил в своей **Постоянной  $h$**  в  $4,135 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$ . Признание этого однозначно приводит к тому, что мир света и излучений из волнового мира, становится истинно квантовым! **Это и есть материальный носитель энергии света и других излучений**. Свет, как поток частиц Планка, несёт и энергию, и массу. И летят они с частотой  $\nu$ , а «длина волны»  $\lambda$  - есть суть расстояние между соседними частицами Планка в потоке. Для синего цвета это 468 нм. И если пересчитать энергию этого кванта в массу по известному соотношению, то мы получим **новую фундаментальную частицу мироздания!** Но, по сути, и сам великий М. Планк не до конца понял всю глубину и значимость своего открытия! Ни он, и никто не догадался считать квантом энергии именно минимальный **квант  $h$**  и далее, пересчитать энергию минимального кванта Планка в массу и считать этот квант новой частицей мироздания. Как говорил **А. Эйнштейн**: «Все знают, что

*это невозможно. Но вот приходит невежда, которому это неизвестно — он-то и делает открытие*». Следовательно, принятая волновая концепция света – несостоятельна! Нет в природе непрерывных ЭМВ, нет потоков «фотонов» с энергией « $h\nu$ », а есть именно потоки частиц-квантов Планка  $h$  разной интенсивности, разной частоты. При этом следует заметить, что периодическую последовательность потока частиц можно легко представить, как волновой процесс с частотой первой гармоники (при разложении в ряд Фурье), а вот волновой процесс трудно интерпретировать, как поток частиц. Т. е. волновые проявления света, как потока частиц, не исчезают. Многие классические волновые представления сохраняют свою актуальность, особенно на малых частотах.

### 3. НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ В 2015 г – ПРИГОВОР «ГИПОТЕЗАМ-ТЕОРИЯМ» А. ЭЙНШТЕЙНА

Наличие массы у частицы Планка при движении со скоростью света доказывает, что она, эта масса, не равна бесконечности, что прямо вытекает из гипотез А. Эйнштейна<sup>5</sup>. И ситуация с релятивистскими массами и скоростями в мировой физике начинает меняться, о чём свидетельствует присуждение **Нобелевской премии** по физике за этот, **2015 г**: японцу **Т. Кадзита** и канадцу **А. Макдоналду**: «За открытие осцилляции нейтрино, доказывающей, что у них есть масса»<sup>6</sup>. Но, очень важно здесь другое, более принципиальное, и даже революционное: **фактически в этом году Нобелевский комитет, по самому факту признания массы у нейтрино, отменил саму «Теорию относительности» А. Эйнштейна**, т. к. нейтрино летит со скоростью света, но, при этом, его масса не равна бесконечности (что прямо следует из гипотез Эйнштейна). А скорость нейтрино была тысячи раз измерена в эксперименте OPERA, и точно совпала со скоростью света. **Значит, масса не стремится к бесконечности, при  $V = C$** <sup>7</sup> Следовательно,

<sup>5</sup> Согласно теории Эйнштейна, масса тела, обладающего ненулевой массой покоя, при его движении со скоростью света становится равной бесконечности. Если же масса тела при таком движении конечна, то масса покоя такого тела должна быть равной нулю. Вне зависимости от отношения к теории Эйнштейна, следует признать, что из этой теории как раз следует, что масса покоя фотона равна нулю.

<sup>6</sup> Следует отличать утверждение «есть масса» от утверждения «есть масса покоя». Признание ненулевой массы нейтрино не тождественно признанию ненулевой массы покоя нейтрино.

<sup>7</sup> О точном совпадении нет речи. Имеются даже сообщения о том, что скорость нейтрино выше скорости света. Но все при упоминании массы нейтрино речь идет об эффективной массе в терминах, где множитель, становящийся равным бесконечности при  $V = C$ , уже учтен. Для повторного введения этого множителя нет оснований, а, следовательно, масса нейтрино не становится бесконечной, и данное толкование никак не опровергает теорию относительности.

частицы, имеющие массу, в т. ч. и частица Планка, могут иметь скорость, равную скорости света. И они её и имеют!

Об искусственности и виртуальности «фотона» говорит и сама история появления на свет этого понятия. Его ввёл в научный обиход, как «сгустки энергии» **Комптон** в 1923 г. и развил 1926 году американский химик **Г.Н. Льюис**. **Т.е. они не открыли в природе, в свете, в излучениях эту частицу, а ввели её искусственно.** Они придумали только само это понятие, сам термин. Разве это физика? Вот, **Дж. Томпсон** открыл электрон. Он обнаружил её в своих опытах и назвал электроном. **В. Рентген** открыл рентгеновские лучи, **А. Беккерель** и **П. Кюри** – радиоактивность, **Р. Милликен** – элементарный электрический заряд, **Эрнест Резерфорд** – протон, **Джеймс Чедвик** – нейтрон, **К. Андерсон** – позитрон<sup>8</sup>. Эти поистине великие физики в сложных экспериментах именно открыли удивительные и важнейшие для понимания мироустройства явления, объяснили их, а потом дали им названия. А «фотон» - это полностью искусственно введённое понятие. Оно было придумано абсолютно безотносительно всякой его сущности, вне опыта, и именно поэтому у него нет, по сути, ни одной характеристики!

#### 4. КВАНТ М.ПЛАНКА, КАК НОВАЯ ЧАСТИЦА МИРОЗДАНИЯ

Выражение  $E = mc^2$  связывает воедино массу и энергию. Именно по этой формуле подсчитаны и общеприняты и энергия электрона **0,511 МэВ** при массе  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, и протона - **938,27 МэВ**, при массе  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Т. е., энергии в 1 эВ соответствует масса в  $1,78 \cdot 10^{-36}$  кг. Следовательно, существует неразрывная связь массы и энергии, и, если есть масса у частицы (тела), то есть и энергия. И если масса равна нулю, то и энергия равна нулю. Тогда, верно и другое утверждение: если есть энергия, то есть и масса!<sup>9</sup> И суть этого соотношения  $E = mc^2$

<sup>8</sup> Нельзя не согласиться с автором в принципиальном отличии открытия элементарных частиц от теоретического введения фотона, как и впоследствии бозона Хиггса. Но не следует сбрасывать со счетов появляющиеся впоследствии сообщения о подтверждении этих гипотез, даже в случае, когда они грешат чрезмерным оптимизмом.

<sup>9</sup> Обсуждаемое соотношение дает соотношение между массой покоя, которая связана в массе с энергией, которая таким путем связана. Это не исключает и не запрещает существование других видов энергии. Согласно теории относительности, при распаде частицы высвобождается энергия, что уменьшает массу системы, то есть часть массы уничтожается, превращаясь в энергию. Следовательно, масса и энергия по этой теории – различные состояния одной и той же данности. Тело, имеющее массу, имеет соответствующую энергию в связанном состоянии, эта энергия скрыта, не проявляет себя как энергия. Такая частица, как фотон, обладающая энергией в чистом виде, может не обладать связанной энергией, то есть массой. Можно не соглашаться с этой теорией, но ошибочно утверждать, что эта теория позволяет утверждать, что если есть энергия, то обязательно есть масса. В теории имеется лишь обратное утверждение, причем связанная энергия

**не в т. н. «эквиваленте»** массы и энергии (это неправильное толкование), а именно в том, что если есть масса, то именно она и заключает в себе (несёт в себе) эту огромную, потенциальную, внутреннюю энергию, ядерную энергию! И если нет массы, то и энергии быть не может. И, если нет массы, то и материи нет! И тезис, или постулат, о том, что энергия переходит в массу и наоборот – полностью несостоятелен! Ничто и ни во что не переходит. Энергия не может превратиться в массу, а масса в энергию. Истина в том, что не может быть энергии без массы, а массы (материи) без энергии! Энергия не может породить массу! И во всех ядерных реакциях возникающий «дефект масс» не «переходит в выделяющуюся энергию», а именно эта, как бы «лишняя», выделенная масса и несёт физически и энергию реакции, и энергию взрыва. Физика – это же наука не о чудесах и фокусах. И ясные школьные формулы **кинетической и потенциальной** энергии тел тоже свидетельствуют об этом: если масса равна нулю, то и эти энергии равны нулю. Тогда, если исходить из соотношения  $E = mc^2$ , масса кванта Планка равна  $m_h = 7,36 \cdot 10^{-51}$  кг, если его энергию поделить на скорость света в квадрате:  $m = E/c^2 = 4,135 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ} / 8,988 \times 10^{16} \text{ М}^2/\text{с}^2 = 7,36 \cdot 10^{-51} \text{ кг}$ . (Поскольку  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ). Т. е. квант Планка есть частица с массой. **Это новая материальная, элементарная, фундаментальная частица мироздания!** Найденная частица мироздания приводит к **глубочайшему и фундаментальному выводу из теории Планка: т. к. энергия неразрывно связана с массой, то квантуется не только энергия, квантуется масса, и, как следствие, квантуется материя, т. е. квантуются частицы мироздания на всех, в т. ч. и нижних, уровнях её организации.** А это кардинально меняет и проясняет многое.

#### 5. ИЗ ИСТОРИИ ЗАБЛУЖДЕНИЙ, В Т.Ч. И НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ

Принятие физикой мира волновой парадигмы света привело к колоссальным, фантастическим издержкам всего процесса познания мира, его физического устройства и законов. Многие достижения и открытия в физике в XX веке в рассматриваемой области, отмечены Нобелевскими премиями, но никто не хочет признаваться в том, что многие из них получены, как попытки найти выход из того тупика, в котором оказалась физика из-за полного **изначального** непонимания сути кванта-частицы великого М. Планка, и, как следствие, полного непонимания устройства света и частиц, и в первую очередь, **электрона!**

собственно энергией не является, это лишь энергия в возможности ее высвобождения, как бы потенциальная энергия распада.

Практически все выдающиеся физики искали приемлемое объяснение **дуализма света и электрона**, пытались математически увязать их волновые и корпускулярные свойства. Но, ясного, понятного и вразумительного ответа (что, собственно и должна дать физика, как наука), нет до сих пор! Об истории этих огромных противоречий хорошо и доходчиво, с сознанием дела, написал **Марно Лоцци** [9]. В частности, «*В XX веке расхождение было уже не между физиками, а в самой физике. Каждый физик вынужден приписывать свету волновую природу, чтобы объяснить определенные явления (например, дифракцию), и корпускулярную природу, чтобы объяснить другие явления (например, фотоэлектрический эффект). Иными словами, как остроумно заметил Уильям Брэгг, каждый физик вынужден по понедельникам, средам и пятницам считать свет состоящим из частиц, а в остальные дни недели - из волн*» [9, гл. 15].

Корпускулярную природу света и обменных взаимодействий доказывали эксперименты многих Нобелевских лауреатов и других физиков (**А.Г. Столетов, П.Н. Лебедев, А.Х. Комптон, Ч.В. Раман, Д. Франк, Г.Л. Герц** и др.). Эти опыты доказывали именно дискретную, корпускулярную природу и света<sup>10</sup>, и уровней энергий атома, и электрона, но вся физика с маниакальным упорством твердила о «дуализме», будучи не в состоянии отказаться от ошибочных волновых непрерывных представлений. Электрон открыт Томпсоном ещё в 1897 г, уже прошло 117 лет (!), но до сих пор, нет никакой ясности, ни со структурой электрона, ни со структурой его излучений! Как физически происходит излучение электрона? Что собственно излучается вовне: волна? А как электромагнитная волна испускается из электрона? Выползает, изгибаясь, как змея? Абсолютная неясность «корпускулярно-волнового дуализма» частиц и излучений породил огромную массу **предположений и догадок**, сложнейших **математических моделей и гипотез**.

**В 1925 г. Нобелевскую премию получили Д. Франк и Г.Л. Герц** «*За открытие законов соударения электрона с атомом*». Эти опыты подтвердили постулат Н. Бора о квантовании энергии в атомах, в электронах. Но, принципиально важно другое: если физика упругого соударения электрона с атомом ртути понятна, то физика процесса неупругого соударения – абсолютно не прояснена: как в этом случае электрон передаёт атому часть своей энергии. Как физически это происходит: и отдача и приём? Факт есть, а ответа нет.

<sup>10</sup> Едва ли уместно смешивать опыты, доказывающие корпускулярную природу электрона (в чем нет оснований сомневаться) с опытами по доказательству корпускулярной природы света. Опытов, доказывающих волновую природу света на порядок больше. Указание на корпускулярную природу «уровней энергий атома» не ясно.

**В 1929 г. нобелевскую премию присудили Луи де Бройлю** за «*открытие волновой природы электрона*». Он подтвердил дуализм электрона, определив у него волновые свойства. Но, чем определяются эти волновые свойства он так и не понял, не раскрыл. Он их только зафиксировал, а «открыл» в частицах т. н. «лагранжиан»? Вот физики и оперируют не физическими величинами и понятиями, а **чисто математическими** – «оператор», «тензор», «гаминтонниан», «матрица плотности», «комплексная волновая функция», «комплексное число», «лагранжиан», «спины высоких порядков». Мы постоянно видим явную замену, подмену реальной физики и реальных частиц, то абстрактным «комплексным числом», то другой математической конструкцией! Так что? В ускорителях сегодня разгоняют «комплексное число» или реальную частицу? Многие выдающиеся физики-лауреаты: **Луи де Бройль, В. Гейзенберг, П. Дирак, Э. Шрёдингер, А. Эйнштейн, Н. Бор, К. Девиссон, Дж. П. Томпсон, В. Паули, М. Борн** потратили часть своих жизней для того, чтобы разгадать и объяснить устройство элементарных частиц, и в первую очередь электрона, Но, к сожалению, ни им, ни современным учёным это сделать так и не удалось, т. к. они не поняли громадную, основополагающую, главную и ведущую роль и значение кванта великого М. Планка, не поняли суть подмены - замены его на призрачный, виртуальный «фотон» Льюиса! Об этой тупицовой ситуации, которую попытались разрешить, в частности, введением «**принципа дополнительности**», пишет **М. Лоцци**: «*Некоторые интерпретируют принцип, как выражение того факта, что электрон, не является ни частицей, ни волной в том смысле, как их представляет себе классическая физика, что это нечто совершенно отличное, что можно представить себе лишь при новом способе мышления. Такая интерпретация исходит из многократно высказывавшегося Бором положения о том, что наши физические схемы, или, как он их называет, наши «идеализации» (точно локализованная частица, строго монохроматическая волна и т. д.) - это не соответствующие действительности слишком упрощенные представления нашего разума*» [9]. О сложившейся ситуации в физике **Зоммерфельд** писал: «*Сейчас еще слишком рано высказывать окончательное суждение по поводу этой теории (гипотеза Н. Бора о виртуальности некоторых излучений), но нам кажется, что компромисс между волновой теорией и теорией квантов, которого пытаются достичь с помощью статистического подхода, носит характер искусственного ухищрения. Так же не очень подходящим кажется нам введение в физику таких величин, как поле виртуального излучения, которое, согласно гипотезе, не должно быть наблюдаемо... Мы*



рассматриваем противоречие между **волновой теорией и квантовой теорией** как временную загадку и считаем, что для ее разрешения **понадобятся глубокие изменения основных понятий электромагнитного поля и, как в теории относительности, даже основных принципов физического знания»** [11] (цитируется по [9]). Признание существования новой фундаментальной частицы даёт ключ и к физике дуализма, и к физике устройства излучений и частиц, и к сути гравитации, и к физике всех видов взаимодействий: электрического, электромагнитного, магнитного и даже гравитационного. Представляется, что признание новой частицы Планка и есть те **«глубокие изменения основных понятий электромагнитного поля и, как в теории относительности, даже основных принципов физического знания»!** Рассмотрим это принципиально новое.

## 6. ПОНЯТИЕ МАССЫ

Сегодня официальная физика пытается заменить правильное толкование **массы, как меры количества материи (вещества)** в теле, на производные от массы понятия: на инерцию или гравитационное притяжение. Это неверно! Вот в космосе, на орбите, масса есть, а веса нет!<sup>11</sup> Масса – это именно количество вещества в теле: именно количество частиц Планка.

**Электрон:** в его массе  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг содержится  $1,23 \cdot 10^{20}$  частиц Планка, если поделить массу электрона на массу частицы.

**Протон:** в его массе  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг содержится  $2,27 \cdot 10^{23}$  частиц Планка. Это примеры сосредоточенной массы. А излучения и поля – это распределённая во времени, рассредоточенная масса из частиц Планка, находящаяся в движении со скоростью света.

## 7. СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОНА

В 1906 г. была присуждена **Нобелевская премия Дж. Томпсону за открытие электрона**. Но, он до сих пор «бесструктурен»!<sup>12</sup> А как же он постоянно обеспечивает всю вселенную и Землю теплом и светом, как он их излучает? Откуда у него спин и огромный магнитный момент? Как происходят постоянно процессы и поглощения электроном энергии и её выделение, в т. ч. и на Солнце, и в лазерах? В чём же физика, суть самого процесса? Ответов нет!<sup>13</sup> Правильная

трактовка массы и правильная трактовка кванта М. Планка сразу и однозначно приводят нас к структуре электрона и структуре самого кванта-частицы Планка. Учёные мира тысячи и тысячи раз сталкивали **накаченные электроны в ускорителях**, а понять, как же он устроен они, якобы, не могут! Они их разбивают, а на что они распадается - не понимают? Хотя ясно, что на выходе они получают только различные излучения, которые все состоят из частиц Планка. **Электрон – это свёрнутый в тороид мощный поток гамма излучения (Рис.1).**

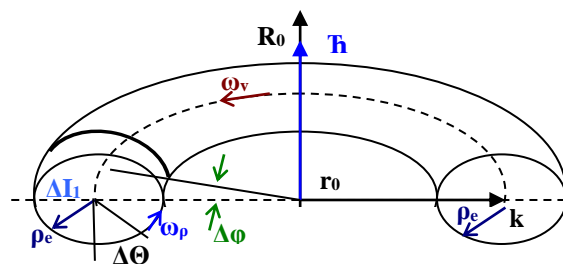


Рис 1. Структура электрона согласно [4]: круги-срезы – это частицы Планка

Мощность потока равна  $0,511$  МэВ/сек или  $1,23 \cdot 10^{20}$  квантов Планка в секунду (т. е. они двигаются в нём по кругу с частотой в  $1,23 \cdot 10^{20}$  Гц). А каждый отдельный оборот вихря в тороиде собственно и есть частица – квант великого М. Планка! **Т. е. сама частица Планка есть один оборот, один круг, один «виток» в тороиде электрона. А таких «витков» - частиц Планка  $1,23 \cdot 10^{20}$ .** Это огромное количество<sup>14</sup> частиц Планка в электроне, аналогично и в других частицах, распределённое по окружности тороида и определяют полностью все характеристики электрона (заряд, магнитный момент, спин, массу и т. д.). Окружности-срезы в тороиде, показанные на Рис. 1, и есть частицы Планка, собственно и составляющие электрон. И именно поэтому и излучение энергии из электрона при остывании, торможении, при переходе из возбуждённого состояния в основное, идёт **путём отдачи, отделения именно этими, имеющимися дозированными, строго фиксированными порциями, т. е. частицами Планка:** они вылетают из электрона, полностью сохраняя всю кольцевую, вращательную суть. Они вылетают, как «кольцо дыма» от курильщика, как мишени-тарелки в стендовой стрельбе. Вот именно это процесс излучения –

эксперимент для подтверждения одних гипотез и опровержения других.

<sup>14</sup> Результат вычисления «количества частиц» по методике автора зависит от выбора размерности частоты (и времени). Если бы случайно выбранная мера частоты в  $1$  Гц (и мера времени в  $1$  с) была иной, например,  $2$  Гц для частоты (и  $0,5$  с для времени), то следуя логике автора, пришлось бы указать, что в электроне содержится вдвое больше указанных «элементарных частиц».

<sup>11</sup> Отождествление массы с весом в серьезной научной литературе не встречается. Отождествление с инерционными свойствами и с количеством вещества прамерны. В условиях невесомости инерционные свойства объекта не изменяются.

<sup>12</sup> Едва ли уместно упрекать первооткрывателя частицы в том, что он не открыл также и структуру этой частицы.

<sup>13</sup> Имеются различные публикации, дающие разные ответы на данные вопросы. Можно говорить об их несовпадении, но не вполне корректно говорить об отсутствии ответов. Несовпадающие гипотезы имеются, необходим решающий

вылетов, открыл и описал М. Планк! Именно такая структура электрона, обеспечивающая возможность выделения «кванта энергии»  $h$  и предания ему скорости света единичным актом «элементарного действия» («выстрелом»), была открыта Планком. Тороид электрона имеет двойное вращение: внутреннее, по кольцу тора, и внешнее, по оси тора [4].

Известно, что мощные потоки гамма излучения могут порождать пары электрон-позитрон, т.е. две массы электрона. Это возможно именно потому, что исходно, в гамма-излучении, эти массы присутствовали изначально в виде потока из частиц Планка. И этот поток в  $1,022 \text{ МэВ/сек}$  в электрическом поле ядра раздвоился и сформировал 2 тороида: в одном собрались частицы Планка с одним направлением вращения (+), а в другом – с другим (-). Т.е. исходно в нейтральном гамма потоке эти частицы Планка разного вращения чередовались. Из этого факта ясна и суть электрического заряда: он определяется направлением вращения самой частицы Планка.

А вот позитронно - эмиссионный томограф<sup>15</sup>. В нём позитрон ( $b^+$ ), испущенный распадающимся ядром, сталкивается, соединяется с электроном близлежащего атома, образуя атом позитрония. При распаде атома позитрония электрон и позитрон «аннигилируют», преобразуя свою массу два гамма кванта с энергией  $0,511 \text{ МэВ}$  и регистрируются внешними детекторами. **Вопрос: куда делась исходная масса в две массы электрона?** Т.е. мы опять видим очевидное: электрон и позитрон просто «раскрылись» и из вращающихся последовательностей, состоящих из  $1,23 \cdot 10^{20}$  частиц Планка, они превратились в два луча<sup>16</sup>, в две последовательности (порции) из тех же  $1,23 \cdot 10^{20}$  штук частиц Планка, несущих энергию в  $0,511 \text{ МэВ}$  каждая, и летящие со скоростью  $C$ .

А синхротронное излучение? Раз электрон всегда излучает, выделяет при торможении излучения рентгеновского и гамма диапазонов, значит, эти излучения есть в структуре электрона!<sup>17</sup> И электрон, состоя из мощного потока из частиц Планка, отдаёт вовне часть своей массы-энергии<sup>18</sup> в виде потоков из этих

же частиц Планка в зависимости от ускорения торможения. Это и есть физическая суть появления синхротронного излучения.

## 8. СТРУКТУРА ПРОТОНА

Это тоже тороид вращения с массой в  $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , что составляет  $2,27 \cdot 10^{23}$  частиц Планка, и составляет «эквивалентную частоту колебаний» в  $2,27 \cdot 10^{23} \text{ Гц}$ . Известно, что масса протона равна около 1836 масс электрона. Вполне возможно, что измерение массы нуклонов в единицах масс электронов имеет не формальный смысл, а глубинный. Т.к. заряд протона равен заряду электрона со знаком «+», то можно представить протон, как некую совокупность, последовательность в его тороиде чередующихся сгустков частиц Планка: псевдо «электронов» с одним направлением внутреннего вращения (отрицательный заряд) и псевдо «позитронов» с положительным вращением (зарядом), то последних должно быть на один больше, чтобы определить общий положительный заряд протона. Т.е. в протоне должно быть 918 «квазиэлектронов» и 919 «квазипозитронов». В нейтроне 919 «электронов» и 919 «позитронов». (У выдающегося украинского теоретика и экспериментатора Б.В. Болотова в нейтроне их по 917 [5]). Т.е. по окружности нуклонов поочередно располагаются блоки из частиц Планка: эл (-) - поз. (+) - эл. (-) – поз. (+) -. Об этом говорят процессы бета распада, когда из ядра, точнее из нейтрона, вылетает электрон: т.е. электрон был там, но в изменённом, «расправленном» виде! Об этом свидетельствует и процесс бета захвата, когда протон захватывает электрон с нижнего уровня и легко встраивает его в свою структуру. Именно вращательная суть электронов и нуклонов определяет их механические спины, а также магнитные моменты (магнитные спины), которые, в свою очередь, является основой, источником магнитных свойств материалов.

## 9. ДУАЛИЗМ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЙ

Излучения, как потоки частиц Планка, с одной стороны, несут массу, что придаёт им свойство твёрдых частиц, а с другой, как периодическая последовательность, воспринимаются как периодические колебания с частотой первой гармоники, с частотой их следования. **Тоже относиться и к частицам (электрон, протон)** – они есть свёрнутые в тороиды потоки из тех же частиц Планка, и как вращающийся вокруг собственной оси поток частиц они обладают интегральной массой (что и делает из этого потока крепкую и устойчивую частицу), а

противоречит не только всем теориям, но и эксперименту (что намного важнее). Оснований для того, чтобы считать массу электрона постоянной (одной из фундаментальных физических констант) достаточно, а оснований для отказа от этой концепции не известно.

<sup>15</sup> См. например, [https://ru.wikipedia.org/wiki/Позитронно-эмиссионная\\_томография](https://ru.wikipedia.org/wiki/Позитронно-эмиссионная_томография).

<sup>16</sup> Указание на строго два луча не обосновано: согласно теории, при аннигиляции позитрона и электрона вся масса переходит в световое излучение, при этом ни теоретически, ни экспериментально не подтверждается, что это излучение идет в виде двух лучей. Имеются и иные теории этого явления, в частности, [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/АИПИ-4-2014-11\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/АИПИ-4-2014-11_0.pdf).

<sup>17</sup> Это не обосновано. С таким же успехом можно было утверждать, что раз барабан способен испускать звук, то, следовательно, звук содержится в молчащем барабане также (и далее по аналогии, что барабан состоит из звука).

<sup>18</sup> Принятие такой концепции потребовало бы признание произвольную и изменяемую массу покоя электрона, что

как непрерывная последовательность частиц Планка, несущихся с определённой частотой, обладают свойствами волн.

## 10. СТРУКТУРА ЧАСТИЦЫ ПЛАНКА И ГРАВИТОНА

Частица Планка – это кольцевая структура, один кольцевой вихрь, один оборот в тороиде и электрона, и нуклона. И, скорее всего, сам квант – частица Планка, строго по аналогии, по логике построения, по заложенному принципу, есть тоже **тороид вращения**, но в нём уже этими «кругами», «плоскостями вращения» «оборотами» выступают гравитоны! **Т. е., гравитоны – это есть один оборот, один виток вихря, один «круг» из «частиц эфира» в тороиде уже самой частицы Планка** (Рис. 1, где круги-срезы – это уже гравитоны).

Аналогично выделению частиц Планка идёт и процесс отделения гравитонов, т. к. именно из них и состоят все частицы Планка. Но, т. к. гравитация – это абсолютно непрерывный процесс, то, значит, гравитоны постоянно вылетают из тороидов, а точнее из частиц Планка, с определённой частотой (т. к. других частиц в электронах, нуклонах просто нет), создавая вокруг себя **гравитационное поле. Это и есть источник гравитации, гравитационного взаимодействия во всей вселенной!** И, естественно, чем больше масса, тем больше её гравитационный потенциал, больше гравитационное излучение, т. к. больше источников гравитонов. А что говорит современная физика о гравитации? Известный физик **лектор Окунь Л.Б.**: *«Источником гравитации является четырёхмерный тензор энергии-импульса»* [2, с. 19]. Физика опять утеряна. Сегодня в популярной области так называемой «квантовой гравитации» сотни самых фантастических гипотез и предположений, вплоть до безумных. Вот, известный учёный, популяризатор отечественной науки, **д.ф.-м.н. Полищук Р.Ф.**, член «Комиссии РАН по лженауке»: *«Предлагается формулировка теории тяготения Эйнштейна-Картрана на языке тетрадных токов для канонического тетрадного поля при условии выполнения тождества Бьянки для тензора кривизны с двумя координатными и двумя лоренцевыми индексами при равенстве нулю коварной дивергенции указанного тензора эквивалентно обращению в нуль его обычной дивергенции, что даёт при интегрировании по 4-объёму пространства-времени обычные локальные интегральные законы сохранения в гравитации»* [6, с.54]. И восхищаешься, и теряешься. Добавить просто нечего. И, естественно, каждое гравитационное кольцо в тороиде частицы Планка есть **квант гравитации, частица гравитации – «гравитон»**, как постоянная этого непрерывного гравитационного процесса. Т. е.,

гравитон – это и есть **«Постоянная гравитации»**, по аналогии с Постоянной Планка, имеющий и свою определённую и массу, и энергию. Сами гравитоны, скорее всего, по аналогии, есть уже кольцевые образования из вихрей частиц самого **мельчайших частиц «эфира»** внутри «кольца» – тороида Планка. Следовательно, гравитон – это следующий, после частицы Планка, уровень организации материи. Если рассуждать о массе гравитона, то, скорее всего она, примерно, не менее чем на 20 порядков меньше, чем масса частицы Планка, так как<sup>19</sup> масса частицы Планка на 20 порядков меньше массы электрона. А масса мельчайших частиц – «эфира», возможно, на те же 20 порядков меньше массы гравитона.

**Следовательно, весь материальный мир есть мир цифровой, мир квантовый, построен на чёткой иерархии частиц разного уровня, от частиц эфира, через гравитоны и частицы Планка, к электронам и нуклонам, что и определяет дуализм всех частиц и электромагнитных излучений.** Эта строгая иерархия построения частиц достигается реализацией **«принципа вложения»**, когда одни частицы, более мелкие, образуют другие, более крупные – следующий уровень по иерархии укрупнения. **И именно потому, что наш материальный мир, есть мир частиц, поэтому и не может быть в природе непрерывных волн, в том числе и радиоволн, как синусоид, а есть только потоки частиц Планка с частотами радиодиапазонов.** И процессы модуляции и поляризации радио, и ТВ сигналов надо объяснять несколько иначе. А по **Полищук Р.Ф.** *«Согласно сегодняшней физической картине мира элементами мира являются кванты возбуждения физического вакуума»* [7]. Опять, одна пустая абстракция и схоластика.

## 11. ФИЗИКА ЭФФЕКТОВ КОМПТОНА, РАМАНА И ЭКСПЕРИМЕНТОВ НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ Д. ФРАНКА И Г.Л. ГЕРЦА

Именно потому, что все частицы и излучения состоят из одних и тех же частиц – частиц Планка, и возможны с высокой эффективностью все процессы взаимодействий излучений и частиц, в том числе и внутри атома (поглощений-вставок и излучений-вылетов). Это и есть физика всех известных **эффектов: Комптона, Рамана, Черенкова, Миссбауэра, Ретгена**, когда часть потока излучения, т. е. часть частиц Планка, направленная на электрон, проникает в него, занимая своё место в его тороидальной структуре, чем увеличивает его энергию-массу. А исходный поток редееет, т. е. его частота уменьшается, скважность

<sup>19</sup> Не ясно, почему «так как», из второго допущения никак не выводится справедливость первого допущения.

увеличивается, т. е. он теряет свою энергию-массу. Таким образом, все излучения, в том числе и гравитационные, несут энергию, все они имеют массу, что опять же следует из формулы  $E = mc^2$ .

Предложенный подход даёт ключ и к физике процесса **экспериментов нобелевских лауреатов Д. Франка и Г.Л. Герца**. Эти опыты подтвердили постулат Н. Бора о квантовании энергии в атомах, в электронах. Но, принципиально важно другое: если физика упругого соударения электрона с атомом ртути понятна («как горох о стенку»), то физика процесса **неупругого соударения** до сегодняшнего дня абсолютно не прояснена: как в этом случае электрон передаёт атому часть своей энергии. Как физически это происходит: и отдача и приём? Факт есть, а ответа нет. Но, теперь физика процесса есть: при малой мощности потока электронов, они не в состоянии преодолеть, пробить запрещающий энергетический барьер и проникнуть частью своей массы внутрь атома ртути. Но, при достаточной мощности они преодолевают его и передают атомам ртути определённую, «нормированную» порцию своей массы-энергии. **То есть физика неупругого столкновения** в том, что электрон отдаёт атому ртути, точнее, электрону атома ртути, часть своей энергии, именно **в виде массы, в виде порции летящего потока частиц Планка** (именно в секунду).

Зная порцию отданной электроном энергии в 4,9 эВ, можно рассчитать и отданную массу ( $1 \text{ эВ}$  соответствует  $1,78 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$ ) и частоту излучаемого потока энергии атомом ртути после его возбуждения. Отданная масса вычисляется умножением  $m = 4,9$  на  $1,78 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$ . Это даёт  **$8,72 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$** . То есть электрон отдал атому ртути  $(8,72 \cdot 10^{-36} \text{ кг} / 7,36 \cdot 10^{-51} \text{ кг}) = 1,18 \cdot 10^{15}$  **штук квантов Планка**. То же мы получим и по формуле Планка:  $N = h\nu$ . Частота излучения  $\nu = N/h = 4,9 / (4,135 \cdot 10^{-15}) = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ , т. е. это **количество квантов Планка в секунду**, в динамике процесса, и отданное электроном атому ртути, и, далее, отданное им вовне. Это **поток мощности в 4,9 эВ/сек** соответствует диапазону ультрафиолета. И этот поток ультрафиолета не есть поток так называемых «фотонов», а есть непрерывный поток частиц Планка с частотой  $1,18 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ . Отдав часть своей массы атому ртути, электрон уменьшил свою массу на эту величину ( $8,72 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$  или  $1,18 \cdot 10^{15}$  штук квантов Планка). **Именно потому, что все электроны и атомы состоят из одних и тех же частиц Планка и возможно эффективное протекание этих процессов: отдачи (выделения) части массы-энергии, как дозированного потока частиц, одним электроном и приёма (встраивания) другим.**

Это новое важнейшее положение относится ко всем процессам, протекающим в атомах: обменное взаимодействие электронов с прото-

нами, что обеспечивает их тесную и крепкую связь в атоме; обменное взаимодействие между протонами и нейтронами, что обеспечивает крепость ядра и атома в целом.

## 12. РАСЧЁТ СКОРОСТИ СВЕТА. ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ И ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ СКОРОСТЬ СВЕТА?

Так как частицы Планка, образующие свет, вращаются из электрона, который есть вращающийся тороидальный поток частиц Планка, а эти частицы имеют по окружности тороида линейную скорость  $V$ .

**Линейная скорость на окружности электрона:**

$$V = \omega R = 1,2364 \cdot 10^{20} \text{ об/с} \cdot 2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 2,999 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

То есть она равна скорости света<sup>20</sup>. Если бы эти параметры ( $\omega$  и  $R$ ) электрона были бы другие, то и скорость света была бы другой.

**Скорость вылета света из протона:**

$$V = \omega R = 2,25 \cdot 10^{23} \text{ 1/с} \cdot 1,33 \times 10^{-15} \text{ м} = 2,992 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

То есть и эта величина равна скорости света. То есть скорость света - это обычная скорость, которая определяется только устройством частиц, его излучающих. И «поляризация света» - это именно только поляризация: изменение плоскостей вращения «вихревых колец» самих частиц Планка относительно направления распространения. И именно тороидальная замкнутая, вращательная суть электронов и нуклонов и способна обеспечить и требуемый «Квант действия» - **спин частиц, и требуемую огромную скорость вылета носителей света и излучений** - частиц Планка.

## 13. СПИН ЭЛЕКТРОНА И ПРОТОНА

В современной физике спин частиц вообще никак не определён. Спин и магнитный момент у электрона (протона) вроде бы есть, а собственного вращения нет! Нет никакого ни объяснения спина. Его «физику» нет вообще. Никакой! Известный лектор **Окунь Л.Б.**: «Спин является ключевым, но, до конца не понятным свойством материи» [2, с. 17]. Или «Спин электрона - квантовая величина. У неё нет механического аналога. Это - внутреннее свойство электрона» [1, с. 326]. **Нет, спин - это важнейшая объективная характеристика именно собственного вращения любой частицы!** Фактически, эту важную физическую характеристику частиц, названную позже спином, ввёл сам М. Планк, введя в рассмотрение «квант действия» с

<sup>20</sup> Не вполне ясно, откуда берутся подставляемые в эти соотношения величины. Если, в частности, подставляется радиус электрона и протона, то радиус электрона должен быть меньше, чем радиус протона, а в используемых соотношениях всё наоборот. Также не ясно, откуда берутся круговые частоты. Вероятно, они вычисляются из условия, чтобы результат дал скорость света, либо из соотношения  $E = h\nu = mc^2$  (что в данном случае то же самое).

размерностью (Джс). М. Планк в 1911 г. **развил новую теорию о «квантах действия»:** «Одновременно с Зоммерфельдом Планк понял всю важность понятия «кванта действия» и положил его в основу новой теории излучения, опубликованной им в 1911 г. Эта новая теория носит гораздо более общий характер, чем теория «квантов энергии», потому что применима ко всем механическим системам, а не только к осцилляторам, но в случае осцилляторов она сводится к гипотезе «квантов энергии». Новая теория была также более абстрактна, нежели предыдущая, потому что действие (произведение энергии на время) - мало наглядная физическая величина, но обладает в новой теории некоторым свойством **атомарности**. Атомарность действия влечет за собой, как следствие, особые соотношения между пространством и временем и динамическими явлениями, локализованными в пространстве и времени. Эти соотношения еще более революционны, чем первоначальное понятие «квантов энергии». Определенно Планку на роду было написано вопреки собственному желанию производить **перевороты в науке!**» [9]. А что значит «атомарность» и «локализация в пространстве и времени»? А то, что все частицы есть именно локализованные, **замкнутые структуры**, т. е. структуры **кольцевые и вращательные**, обладающие именно механическим спином. И именно об этом писал, как уже отмечалось, **Н. Бор**.

По законам механики вращения **момент импульса** (или момент количества движения) вращающегося тела –  $M$ , есть произведение момента инерции  $J = m R^2$  на угловую скорость вращения  $\omega$ , т. е.  $M = m R^2 \omega$ .

Это выражение, исходя из его физического смысла, смысла количества движения, можно и нужно трактовать, как выражение **механического спина частицы** и обозначить значком  $Sp$ . И его физическая суть проста и очевидна – это механический момент импульса частицы, механический момент количества движения, определяемый массой частицы, её радиусом и угловой скоростью собственного вращения.

**Расчёт спина электрона<sup>21</sup>:**

$$Sp_e = m R^2 \omega = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \times (2,42 \cdot 10^{-12} \text{ м})^2 \times 1,24 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1} = 6,60 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

То есть  $Sp_e$  численно равен постоянной Планка  $h$ .

**Расчёт спина протона**

$$Sp_p = m R^2 \omega = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \times (1,33 \cdot 10^{-15} \text{ м})^2 \times 2,25 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1} = 6,64 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

То есть он тоже равен  $h$ .

Следовательно, спин частицы есть момент количества его вращательного движения, и он численно равен **Постоянной Планка** (что гениально предугадал Планк), а не числам «1» или «2», или «1/2» и т. д.

И у основных, главных частиц мироздания, у этих неутомимых источников-поставщиков света во вселенной – у электронов и нуклонов, – он **одинаковый (равный  $h$ )**, как и показал великий **М. Планк**.

#### 14. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГРАВИТАЦИИ, СКОРОСТЬ ПОЛЁТА ГРАВИТОНОВ

Можно предложить следующую логику рассуждений. Так как частица Планка есть тоже тороид с параметрами  $m$ ,  $R$  и  $\omega$ , что и определяет его момент импульса, как вращающейся тороидальной частицы  $M = m R^2 \omega$ . Но, т. к. нам не известно значение  $M$ , то этой формулой для определения  $\omega$  пользоваться мы не можем. Но, можно найти скорость гравитации, зная энергию частицы Планка, **равную  $E = h$** . Ниже показано, что энергия вращающейся частицы, **энергия ускоренного её вращения  $E = J \omega^2 = m R^2 \omega^2$** .

Тогда, для частицы Планка (применительно к электрону)

$$\omega^2 = E / m R^2 = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} / 7,36 \cdot 10^{-51} \text{ кг} \times (0,6 \cdot 10^{-12} \text{ м})^2 = 25,0 \cdot 10^{40}.$$

Радиус частицы Планка здесь взят равным четверти радиуса электрона, то есть около  $0,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ . Тогда  $\omega = 5,0 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1}$ , что в 4 раза превышает скорость углового вращения электрона вокруг собственной оси. Следовательно, линейная скорость точки на поверхности частицы Планка (по касательной), с которой вылетают из частиц Планка вовне гравитоны,

$$V_{гр} = \omega R = 5,0 \cdot 10^{20} \text{ 1/с} \times 0,6 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

То есть эта величина равна скорости света<sup>22</sup>. **Применительно к протону:** при радиусе частицы Планка в четверть радиуса протона (т. е.  $0,33 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ ),  $\omega = 9,05 \times 10^{23} \text{ с}^{-1}$ , а скорость вылета гравитонов **из протона**

$$V_{гр} = \omega R = 9,05 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1} \times 0,33 \cdot 10^{-15} \text{ м} = 2,97 \times 10^8 \text{ м/с}.$$

То есть результат также равен скорости света.

**Рассуждая о частоте так называемых «гравитационных волн»** можно сказать, что это есть количество гравитонов в секунду, а **длина гравитационной «волны»** физически есть расстояние между соседними гравитонами. По аналогии с излучением электрона, который в зависимости от условий возбуждения может генерировать разные диапазоны, до рентгена включительно, т.е. до  $10^{18} \text{ Гц}$ , а сам при этом он

<sup>21</sup> Здесь также не вполне дана ясность об исходных данных, поэтому нет уверенности в том, что частота не вычислена исходя из желаемого результата умножения.

<sup>22</sup> Здесь также не исключено, что совпадение результата со скоростью света является следствием того, что одна из величин вычисляется из соотношения  $E = h\nu = mc^2$

есть последовательность с частотой  $1,23 \times 10^{20} \text{ Гц}$ .

Тогда, можно примерно определить верхнюю границу частоты гравитационных «волн», испускаемых электронными частицами Планка, тоже в  $10^{18} \text{ Гц}$ , т. к. собственная частота частицы Планка есть  $\omega = 5,0 \cdot 10^{20} \text{ Гц}$ , т. е., порядок, как и у электрона. А «длина волны» есть скорость распространения ( $3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ) поделённая на частоту ( $10^{18} \text{ с}^{-1}$ ), т.е. равна  $0,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$  или  $0,03 \text{ нм}$ . Это соответствует длине волны гамма-излучения, и с этой периодичностью летят гравитоны, частицы с несоизмеримо малой энергией-массой.

### 15. ОБ ИСТОЧНИКАХ И ФИЗИЧЕСКОЙ СУТИ СИЛ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ (ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, МАГНИТНЫХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ), В Т.Ч. СИЛ ЛОРЕНСА И КУЛОНА

Раскрытие устройства частиц, как тороидальных вращающихся масс и зарядов, позволяет нам перейти к решению сложнейшего вопроса: к раскрытию природы и физической сути не только всех физических взаимодействий (электрического, электромагнитного, магнитного, гравитационного), но и сути самих сил, а силы – это конечный результат и цель взаимодействий. Как оказалось, физика сил и взаимодействий объектов материального мира связана наличием у частиц собственных моментов движущей силы.

**Момент движущей силы электрона и протона.** Т.к. электрон вращается с ускорением, то он обладает и вектором движущей силы (момента силы)  $F_d = J \cdot a_{\text{вр}}$ , где  $J$  - момент инерции,  $a_{\text{вр}}$  – угловое ускорение вращения, точнее нормальная составляющая вектора ускорения (по оси вращения). Т. е., эта величина  $F_d$  говорит о том, что если тело вращается с ускорением, то по оси его вращения действует момент силы  $F_d$ , направленный по оси вращения, что собственно и создаёт, и, по сути, и является, **внутренней собственной движущей силой**, направленной по оси вращения в сторону, определяемом правилом правой руки.

Известно, что при ускоренном вращении с ускорением  $\varepsilon$ , угловая скорость и радиус связаны соотношениями (для тела в виде круга)  $\varepsilon = V^2 / R = (\omega \cdot R)^2 / R = \omega^2 \cdot R$ . Тогда, выражение принимает вид  $F_d = J \cdot \varepsilon = m R^2 \times \omega^2 R = m \omega^2 R^3$ , или через постоянную Планка  $F_d = hR\omega$ .

Таким образом, это и есть величины векторов движущей силы основных, главных элементарных «материальных» частиц – электрона и протона, которые и определяют абсолютно всю динамику взаимодействий всего мира, и электрическую между зарядами, и магнитную между магнитами, и гравитационную между массами, определяют источник и силы, и ускорения частиц!

Для электрона значение момента движущей силы

$$F_d = hR\omega = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Джс} \times 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ м} \times 1,24 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1} = 1,98 \cdot 10^{-25} \text{ Н}.$$

Для протона:

$$F_d = hR\omega = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Джс} \times 1,33 \cdot 10^{-15} \text{ м} \times 2,25 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1} = 1,98 \cdot 10^{-25} \text{ Н}.$$

Ускорение, которое приобретёт электрон при приложении к нему этой движущей силы (момента силы) будет равно отношению силы к массе электрона:  $a_e = F_d/m = 2,17 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ .

Для протона ускорение движения составит  $a_p = 1,18 \cdot 10^2 \text{ м/с}^2 = 118 \text{ м/с}^2$ . Эта сила, по сути, есть «мощность» внутреннего, собственного, постоянно работающего «двигателя» частицы, которая и придаёт всем частицам движение!<sup>23</sup>

Об источниках и физической сути сил и взаимодействий (электрических, магнитных и гравитационных) в природе, в т. ч. сил Лоренса и сил Кулона: сегодня, в XXI веке, нет никакого объяснения физической сути этих сил и взаимодействий. Но, как оказалось, именно наличие у каждой частицы собственного внутреннего источника движения и определяет источник этих сил и взаимодействий. Очевидно, **что электрон и протон есть и вращающаяся и масса, и вращающийся заряд**. Тогда по оси вращения будут направлены: а) **вектор механического момента** (спина) частицы, как вращающейся массы со своим ускорением и движущей силой ( $F_d$ ); б) **вектор магнитного момента** (как вращающегося с массой заряда), и, соответственно, вектора напряжённости магнитного поля.

У электрона  $M_m = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Джс/Тл}$  и  $H = 7,0 \cdot 10^8 \text{ Тл}$ .

У протона  $M^M = 1,4 \cdot 10^{-26} \text{ Джс/Тл}$  и  $H = 8,5 \cdot 10^{14} \text{ Тл}$  [4, с. 92].

Так как механический и магнитные моменты (спины) и электрона, и протона (нейтрона) связаны жёстко и неразрывно, то этот интегральный электромагнитный и механический вращающийся момент назовём «спином частицы», но спином с большой буквы – «Спин», т.к. это не только совокупный спин частицы, но и её движущий момент, момент силы, «мощность собственного внутреннего двигателя»! Соответственно, Спин атома будет равен векторной сумме составляющих атом «объединённых» Спинов частиц, всех его электронов и нуклонов. **Вся суть предлагаемой**

<sup>23</sup> Предположение о том, что движение отдельных компонент частицы или твёрдого тела требует энергии, ошибочно, поскольку приводит к необходимому следствию, что это движение таковую энергию потребляет. Следовательно, энергия должна расходоваться. Поскольку энергия покоящегося атома, молекулы, твёрдого тела при отсутствии энергетического обмена не потребляется и не выделяется, следовательно, всякое стационарное невозбужденное извне движение отдельных компонент этих тел не требует энергии, не потребляет её и не выделяет. Это движение подобно току в сверхпроводящем проводнике.

**концепции сил и взаимодействий** заключается в том, что каждый элемент тела, каждый атом и молекула имеет свой Спин. В исходном положении все они имеют какую-то свою, определённую ориентацию, что и определяет исходное состояние и поведение тела. Интегральные силы всех Спинов тел, в целом разнонаправлены, скомпенсированы и их интегральное значение равно нулю или какому-то интегральному значению. Это значение не равно нулю у всех предметов на Земле, о чём свидетельствует вес<sup>24</sup> каждого предмета (т. е. вес – есть уже проявление внутреннего источника движения, результат векторного сложения в телах их Спинов). **Оно не равно нулю** и у постоянных магнитов, как проявление тех же потенциальных сил к движению! Но, при воздействии на тело электрическим (электромагнитным, магнитным) полем, это воздействие так меняет направления вектора Спинов атомов, воздействуя на **магнитную** составляющую всех составных элементов, что они **механически изменяют своё первоначальное положение** в направлении источника воздействия, появляется результирующая, **некомпенсированная** составляющая, как проекция всех исходных векторов на направление воздействия, которая имеет своё направление. Если вектор результирующей проекции направлен на источник, то тело движется к источнику с ускорением, и это наблюдатель воспринимает, как притяжение; если, против, то, как отталкивание. Этого же эффекта можно добиться и приближением к телу **объекта с массой**, как источника гравитонов, **источника гравитации**. Поток гравитонов от этой массы будет оказывать на тело аналогичное влияние. Вектора Спинов под действием гравитонов тоже будут менять своё положение, и у тела появиться результирующая составляющая, **некомпенсированная**, направленная к источнику, к массе. И это будет процессом гравитационного притяжения. Вот на Земле этот процесс смещения всех Спинов тел от интенсивного потока гравитонов Земли и привёл к тому, что все тела «притягиваются» к Земле и имеют вес (*mg*). **Но, источник самого движения, воспринимаемого, как притяжение, находится в самих телах:** Спины тел так были сориентированы потоком на них гравитонов, именно в сторону потока гравитонов, исходящих от Земли, т. е. перпендикулярно Земле, строго по «силовым линиям гравитации Земли». Следовательно, меняя направление вектора магнитного момента, которое жёстко и однозначно связано с механическим спином, мы можем менять направление механического спина и, следовательно, направление внутренней движущей силы и, соответственно, направление

собственного движения частицы (тела), т. е. менять направление и силу, как гравитационного, так и электромагнитного притяжения (отталкивания). Собственно, это и есть физика, суть магнетизма. **Следовательно, единственным источником сил, движений и взаимодействий, в т. ч. магнитных и гравитационных, являются внутренние механический и магнитный моменты электронов и нуклонов, объединённых в рамках единого электромагнитно - механического спина атома и тела в целом.** А сам механизм взаимодействия - есть обмен потоками электромагнитного и гравитационного излучения тел, суть которых есть потоки частиц, которые и изменяют направление этих интегральных объединённых спинов атомов, и соответственно, вызывают появление некомпенсированного спина – источника движения. Это и есть источник и физическая суть, в т. ч. и сил Кулона, и сил Лоренца, сил магнитных. И электрический ток, это самое распространённое явление, есть движение электронов, но их двигают собственные «двигатели», освобождённые и упорядоченные приложенным внешним электрическим полем из тех же частиц Планка. И железная скрепка летит к магниту за счёт собственного «внутреннего двигателя», т. к. у неё появился некомпенсированный спин от воздействия внешнего магнитного поля. И магнитная стрелка компаса поворачивается за счёт плеча сил, вызванных собственными некомпенсированными механическими спинами от воздействия внешнего магнитного поля Земли. Эту физическую основу имеют и знаменитый военный эксперимент ВМС США 1943 г. «Филадельфия», когда эсминец «Элдридж» был перемещён по воздуху сильнейшими электромагнитными полями<sup>25</sup>.

**Из изложенного следуют крайне серьёзные выводы: для полётов и в воздухе, и в космосе, не нужны двигатели на топливе.**

Двигателем могут быть конструкции аппарата, использующие собственные внутренние «спиновые двигатели». Для этого надо, в т. ч. и опираясь на уникальные эксперименты прошлого, а) или высвободить, синхронизировать и интегрировать механические Спины атомов (доменов) магнитной конструкции аппарата, что гениально реализовал великий Дж. Сёрл, создав и запустив 47 своих «летающих генераторов» на сложных **магнитных эффектах**<sup>26</sup>; б) или

<sup>25</sup> Здесь автор апеллирует к неподтвержденному сообщению, не имеющему научного подтверждения, см. например, [https://ru.wikipedia.org/wiki/Филадельфийский\\_эксперимент](https://ru.wikipedia.org/wiki/Филадельфийский_эксперимент)

<sup>26</sup> По-видимому, имеется в виду серия публикаций в Интернете, как, например, <http://lingvosophy.com.ua/svobodnaya-energiya/1783-generator-serla-letayushaya-tarelka-serla.html>. Научность этих публикаций ничем не подтверждена. То есть настолько

<sup>24</sup> Видимо, лучше не вес, а инерционность или массу. Здесь автор совершает ту ошибку, в которой обвинял других авторов притом, что они такой ошибки не совершали.

создать **поток гравитонов**, разбив определённую массу на гравитоны, и направив этот поток поляризованных гравитонов на массу корабля, как это сделал **гениальный экспериментатор Дж. Уорел Кили**<sup>27</sup> (1837–1898 г.). Он сумел рассчитать резонансные частоты на всех уровнях организации материи (на уровне молекулярных связей, межатомных, внутри атомных (электрон - нуклон), внутренние резонансные частоты электрона, нуклона и даже частиц Планка! Правильно поняв структуру материи, как систему последовательных вложений частиц разного уровня, он сконструировал механические точнейшие генераторы звуковых колебаний нужных частот, которые далее концентрировались сильнейшим и сложнейшим образом в своих «либераторах», разбивая там огромным давлением материю до гравитонов! Далее, он направлял **потоки гравитонов** на массу своего «летающего корабля», чем эффективно менял его вес и летал на своей «тарелке» с огромными скоростями!

Очевидно, что есть и ещё много других способов покорить гравитацию и улететь к далёким галактикам. Отметим, что, быстрее всего, именно наличие такого собственного внутреннего «двигателя» у частиц света, излучений и частиц, позволяет им пролетать в безграничном космосе фантастические расстояния и достигать поверхности Земли.

Из изложенного следует, что **единство электромагнитных и гравитационных сил** обусловлено неразрывной связью механического и магнитного моментов и электрона, и протона, и нейтрона (в рамках объединённого **спина**), и общностью физических механизмов воздействия через потоки соответствующих излучений. При этом и гравитация, и электромагнитное излучение, разными способами воздействуют на один источник движения – на Спин тела, меняя его направление.

## 16. ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ФОРМУЛЫ ЭЙНШТЕЙНА $E = mc^2$

Из приведенного следует, что в электронах и протонах, а также и в частицах Планка и гравитонах, как сильно вращающихся с ускорением массах, заключена поистине

громкая, фантастическая энергия движения<sup>28</sup>. **Она там «законсервирована», и это есть суть ядерной энергии**, она там находится в огромной потенции к движению, к разрыву, к разбросу, к разрушению. И формула  $E = mc^2$  и, по самой форме записи, и по самой сути, отражает ту простую, ясную и очевидную мысль, что энергия, которой обладают все тела на Земле и во вселенной, есть **удвоенная кинетическая энергия движения**, заранее запасённая в телах<sup>29</sup>, в их массах, в электронах и нуклонах, при линейной скорости вращательного движения (по касательной), равной скорости света. **Это полностью подтверждается и расчётом энергии частиц, как вращающихся масс.**

Энергия вращающегося тела  $E = J \omega^2/2$ . Но, т. к. энергия удвоена за счёт двойного вращения, то  $E_c = J \omega^2 = m R^2 \omega^2$ .

Для электрона энергия вращения  $E_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ кг} \times (2,42 \cdot 10^{-12} \text{ м})^2 \times (1,24 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1})^2 = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$  (или  $E_e = 0,511 \text{ МэВ}$ , так как  $1 \text{ Дж} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ ).

Для протона  $E_{\text{пр}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \times (1,33 \cdot 10^{-15} \text{ м})^2 \times (2,25 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1})^2 = 1,48 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 923 \text{ МэВ}$  (чуть меньше нормы в  $938 \text{ МэВ}$ ).

Т. е., значения, в принципе, совпали<sup>30</sup>: энергия ядерная по формуле  $E = mc^2$  равна энергии вращения  $E = J \omega^2 = m R^2 \omega^2$ !

За выражениями  $E = mc^2$  и  $E = mR^2\omega^2$  скрывается глубина и суть устройства материи, наполненной ядерной энергией - энергией вихревого, сложного вращения масс! За ними скрывается и сама реальная внутренняя движущая сила и частицы, и тела, которая и определяет суть движения и взаимодействий тел и частиц во вселенной.

## ВЫВОДЫ

1. Из теории Планка следует фундаментальный вывод о том, что квантуется не только энергия, квантуется и масса, и, как следствие, квантуется материя (частицы мироздания) на всех уровнях её организации. На этой основе определена и раскрыта физическая суть двух новых фундаментальных частиц мироздания – **частицы М. Планка**, которая составляет суть **света и других электромагнитных излучений**, и частицы гравитации – **гравитона**. Представляется, что на этой основе могут быть получены принципиально новые прорывные,

подробного описания экспериментов, которое позволило бы их повторить с тем же результатом, о котором сообщается, что является основным критерием научности. Соответственно, нет и сведений о подтверждении или повторении указанных опытов другими исследователями.

<sup>27</sup> «Джон Уорел Кили (англ. John Worrell Keely; 3 сентября 1827 — 18 ноября 1898) — американец, мошенник, «изобретатель», утверждавший, что им открыт новый источник энергии» - цитируется по источнику: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кили,\\_Джон\\_Уоррел](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кили,_Джон_Уоррел)

<sup>28</sup> Это следует не из сказанного в данной статье, а из совокупности сделанных теоретических и экспериментальных открытий в области ядерной физики.

<sup>29</sup> Термин «заранее запасённая энергия» вызывает целый ряд возражений. Кем? Ранее чего? Откуда? Означает ли это, что ранее было действие создания запаса путем преобразования или перемещения энергии из иных источников? Термин «скрытая» или, «сохраняющаяся», «содержащаяся» энергия не вызвал бы никаких возражений.

<sup>30</sup> См. примечания 21, 22, 23



инновационные решения в области света, фотоники, лазеров, ядерной физики, спинтроники. Это открывает огромные возможности в разработке новых принципов получения энергии и движения, а также в овладении гравитацией.

2. Электроны и нуклоны – это тороидальные вращательные структуры, состоящие из частиц Планка. Сами частицы Планка (при массе в  $7,36 \times 10^{-51}$  кг) и «гравитоны» – тоже тороидальные вращательные структуры. Частица Планка состоит из гравитонов, а гравитоны из мельчайших частиц материи. Гравитация – это процесс обмена масс (атомов, молекул) гравитонами, которые постоянно излучаются вовне частицами Планка.

4. Источником сил, движений и взаимодействий, в т. ч. магнитных и гравитационных, являются внутренние механический и магнитный моменты электронов и нуклонов, объединённых в рамках **единого электромагнитно-механического спина** атома и тела в целом. А сам механизм взаимодействия – есть обмен потоками электромагнитного и гравитационного излучения тел, суть которых есть потоки частиц, которые и изменяют направление этих интегральных объединённых спинов атомов, и соответственно, вызывают появление некомпенсированного спина – источника движения.

**5. В нуклонах, скорее всего, нет ни кварков, ни безмассовых глюонов. В природе нет бозонов, в т. ч. и бозонов Хиггса.** Представляется, что мировая физика идёт по ошибочному пути, т. к. до сих пор фактически не оценила по достоинству и проигнорировала глубочайшую суть величайшего открытия М. Планка.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Трофимова Т. И. Курс физики, М, Высшая школа, 1990.
- [2] Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. М, Наука, 1988.
- [3] Белозёров А. Ф. Оптика России. Казань. Центр инновационных технологий, 2012.
- [4] Канарёв М.Ф. Монография микромира, 2012.
- [5] Болотов Б. В., Болотова Н. А. Основы строения вещества с позиции авторов. Киев, Международный центр «Универсарий», 2009.
- [6] Полищук Р. Ф. Каноническая калибровка гравитационного вакуума и закона сохранения в пространствах Римана-Картана. Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц, плазмы и оптоэлектроники. М, У-т Дружбы народов, 2014.
- [7] Полищук Р. Ф. Современная физическая картина мира. Статья, 2010.
- [8] Савельев И. В. Курс общей физики. Т3. М, Наука, 1987.
- [9] Лоцци Марио. История физики. Механика. 1970. [http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000008/st00\\_0.shtml](http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000008/st00_0.shtml)
- [10] Жмудь А. М. Квант "действия" или квант "момента количества движения"? Журнал

Самиздат, 2004.

[http://samlib.ru/z/zhmudx\\_w\\_a/quantdeystviya.shtml](http://samlib.ru/z/zhmudx_w_a/quantdeystviya.shtml)

- [11] А. Sommerfeld, Über die letzte Fortschritte der Atomphysik, Scientia, 39, 18. 1926.

**Карпов Константин Константинович**, кандидат военных наук, СНС, полковник в отставке. Закончил Харьковское высшее командно-инженерное училище в 1969 г. с золотой медалью по специальности «Системы управления летательных аппаратов», а в 1976 г. командный факультет Военно-инженерной академии им. Ф.Э. Дзержинского с отличием. Проходил службу в частях РВСН и в научно-исследовательских учреждениях ГШ ВС СССР и МЧС РФ, занимаясь около 20 лет проблемами управления (в т. ч. автоматизации) войсками и сложными системами. Кандидат военных наук с 1984 г., старший научный сотрудник с 1987 г. Последняя должность - начальник головного отдела ВНИИ ГО и ЧС. Принимал участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, за что был награждён орденом «Знак почёта». Автор более 70 научных трудов, в т. ч. по биологии и физике.

E-mail: [karpov.kk@yandex.ru](mailto:karpov.kk@yandex.ru)

## On the new Representations of Physical Essence of the Quantum Planck Constant, Light, Radiation, and the Structure of Elementary Particles

K.K. Karpov

*Abstract:* <sup>31</sup> Modern physics, and especially quantum and particle physics, is full of contradictions and uncertainties. Many of the most important concepts are blurred or not defined at all. This is the concept of "mass", "back", "photon" and others. Huge amounts of money are spent on accelerators, to experiment, and the structure of elementary particles, and especially the electron still has not been determined. The article shows that the reason for this lies in the fact that initially was not understood the true, deeper meaning of the greatest discoveries of the XX century - the opening of Max Planck in 1900, photon energy and action. It is shown that the lowest possible energy quantum Planck ( $h$ ), in essence, there is a new elementary particle of the universe with a mass of  $7.36 \cdot 10^{-51}$  kg, which has its own structure and characteristics. And precisely because it comprised all of the radiation, in Vol. H. And the light, and all the elementary particles. Recognition of quantum  $h$  Planck particle can not only correctly understand the structure and essence of light, radiation and particles, but it helps to reveal the essence of all natural forces - electromagnetic, magnetic, and even gravity, the essence of the changes the electron (nucleon) of the mass and energy in the accelerator. Lets show the real essence of the physical mass and spin of the particles, to determine the nature and parameters of the velocity of light, and even gravity. It allows you to reveal the physical essence of the formula  $E = mc^2$  i.e. the device to show the essence of all the particles of matter how difficult the rotating

<sup>31</sup> The author did not propose the abstract in English. The Editing board does not makes the translates of the papers published in the "Discusions" paragraph in this case. This translation is made by means of web site <https://translate.google.ru/>. Any quations please address to the author to his e-mail or to the Editing board of the journal "A&SE"

masses, having twice the kinetic energy.

*Key words:* elementary particles, photons, quantum gravity

#### REFERENCES

- [1] Trofimova T. I. Kurs fiziki, M, Vysshaja shkola, 1990.
- [2] Okun' L. B. Fizika jelementarnyh chastic. M, Nauka, 1988.
- [3] Belozjorov A. F. Optika Rossii. Kazan'. Centr innovacionnyh tehnologij, 2012.
- [4] Kanarjov M.F. Monografija mikromira, 2012.
- [5] Bolotov B. V., Bolotova N. A. Osnovy stroenija veshhestva s pozicii avtorov. Kiev, Mezhdunarodnyj centr «Universarium», 2009.
- [6] Polishhuk R. F. Kanonicheskaja kalibrovka gravitacionnogo vakuuma i zakona sohraneniya v prostranstvah Rimana-Kartana». Vserossijskaja konferencija po problemam dinamiki, fiziki chastic, plazmy i optoelektroniki. M, U-t Druzhby narodov, 2014.
- [7] Polishhuk R. F. Sovremennaja fizicheskaja kartina mira. Stat'ja, 2010.
- [8] Savel'ev I. V. Kurs obshhej fiziki. T3. M, Nauka, 1987.
- [9] Loco Mario. Istorija fiziki. Mehanika. 1970. <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000008/st000.shtml>
- [10] Zhmud' A. M. Kvant "dejstvija" ili kvant "momenta kolichestva dvizhenija"? Zhurnal Samizdat, 2004. [http://samlib.ru/z/zhmudx\\_w\\_a/quantdeystviya.shtml](http://samlib.ru/z/zhmudx_w_a/quantdeystviya.shtml)
- [11] A. Sommerfeld, Uber die letzte Fortschritte der Atomphysik, Scientia, 39, 18. 1926.

# Дисперсионная трактовка эффекта Хаббла

В.А. Жмудь

ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

**Аннотация.** Эффект Хаббла состоит в том, что спектр звезд имеет смещение в красную сторону. Отмечено, что чем дальше находятся от Земли астрономические источники излучения, тем больше этот сдвиг. Этот несомненный факт лежит в основе отнюдь не бесспорного предположения, что чем дальше от нас эти звезды, тем сильнее они от нас удаляются. Если бы таковое удаление имело место, оно привело бы к такому следствию, но не только таковое удаление может вызвать такое следствие. Поэтому правомочна гипотеза и о том, что глобального расширения Вселенной не имеется, а имеется всего лишь дисперсионное затухание энергии света по мере его распространения в пространстве. Это возвращает науку к гипотезе о бесконечных размерах Вселенной, о ее относительной стационарности в том смысле, что ни один из ее достаточно больших участков не движется в среднем в каком-либо заданном направлении, что не отрицает движения любого из ее объектов в любом направлении и с любой скоростью. Автор опубликовал цикл статей с разъяснением этих взглядов. Эти статьи вызывали многие отклики, и эти отклики продолжают поступать по различным каналам, как через сайты, так и на электронную почту. Поступающие вопросы свидетельствуют о том, что даже те читатели, которые в целом согласны с некоторыми тезисами указанных публикаций, как выясняется, не смогли понять единства и стройности предлагаемой физической картины, описывающей строение Вселенной. Поэтому в данной статье даются ответы на возникающие вопросы, что дает целостное изложение получающейся картины.

**Ключевые слова:** Вселенная, астрофизика, галактика, эфир, относительность, эффект Хаббла, скорость света.

## ВВЕДЕНИЕ

Говорят, когда на рубеже XIX и XX веков слушателям объясняли принцип действия паровоза, один слушатель сказал, что ему ясно, как пар в котле приводит колеса в движение, но остается не ясным только, куда пристегивается конь, который тянет паровоз. То есть на самом деле этому слушателю принцип действия паровоза остался не ясным, хотя сам он считал, что понял почти всё, кроме незначительной малости.

Ощущение такой же ситуации возникает, когда в откликах читатели говорят о том, что им всё понятно, кроме небольшой малости. Например, им ясно, что свет может терять свою скорость при своем распространении, но вот только непонятно, как автор такой теории поступает с проблемой «темной материи». Или как решается вопрос, связанный с тем, что во Вселенной должна существовать общая суммарная гравитационная сила, заставляющая её сжиматься, и так далее. Ведь если читатель согласится, что у Вселенной нет границ, и что она отнюдь не расширяется, то странно, что он ищет объяснения причин тех явлений, которые существуют лишь в воображении тех теоретиков, которые представляют Вселенную ограниченной во времени и в пространстве. Ведь эти схоластические гипотезы всего лишь следствие принятия ошибочной гипотезы об ограниченных размерах Вселенной, о её расширении и так далее.

У тех, кто предпочитает разбираться в проблемах последовательно и учитывает принятые и отвергнутые тезисы, не должны возникать подобные вопросы. Но таких читателей, по-видимому, не большинство. Поэтому необходимо уделить особое внимание последовательности изложений, фиксации принятых тезисов и отверженных гипотез.

## ОСПАРИВАЕМАЯ КАРТИНА

Для опровержения общепринятой теории первоначально следует ее детально очертить.

Согласно принятой теории вся материя Вселенной сосредоточена в некотором ограниченном пространстве, которое имеет форму сферы. Все звезды и звездные скопления разлетаются друг от друга, следовательно, и от центра. Скорость удаления между любыми двумя объектами тем выше, чем больше расстояние между этими объектами.

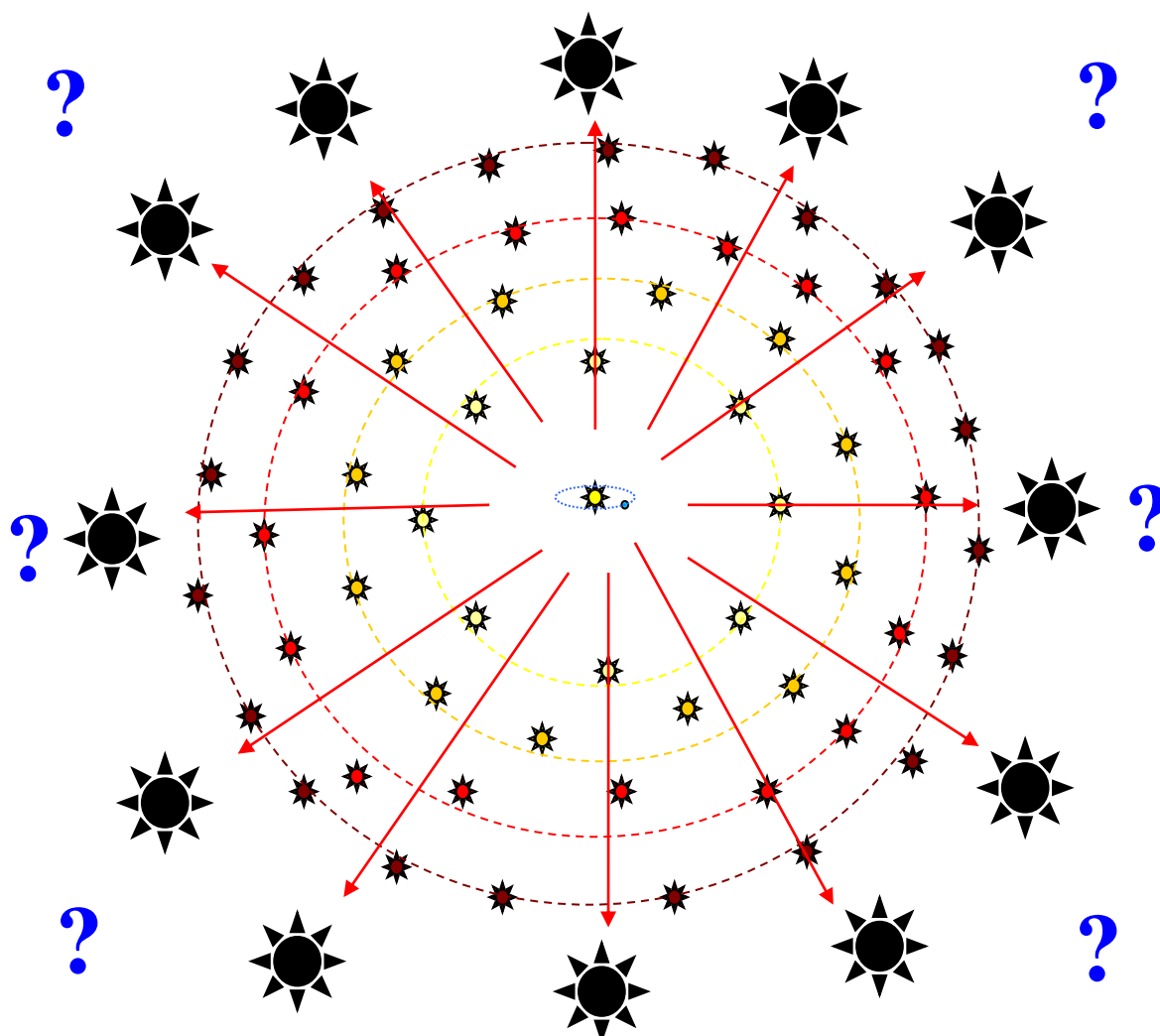
Считается, что приблизительно 10-20 миллиардов лет тому назад Вселенная якобы была сжата в точку, то есть её диаметр был практически нулевым. На *Рис. 1* представлено схематично современное представление о строении Вселенной (в разрезе), где Солнечная система показана в центре условным обозначением. При этом размеры галактик варьируются, одинаковый вид значков выбран условно.

Предположение о глобальном расширении Вселенной не требует признания её ограниченных размеров, поскольку бесконечность может расширяться бесконечно в бесконечных пределах. Но предположение о возможности

подсчитать время, когда Вселенная была сжата в точку, непременно указывает на принятие предположения о том, что Вселенная имеет именно ограниченные размеры. Если бы теория говорила о том, что лишь видимая нами часть Вселенной была сжата в точку, то при этом следовало бы признать, что некоторая часть ее невидимой её части заняла бы место, которые занимает сейчас видимая её часть, и поэтому факта сжатия в точку не было бы как объективной реальности. При этом был бы лишь факт сжатия в точку некоторой субъективно выделенной части, поэтому гипотезу о взрыве следовало бы отрицать. Пришлось бы отрицать какое-либо состояние «до взрыва» как отличное от состояния «после взрыва». Поэтому не было бы возможности говорить о «возрасте Вселенной», так как не было бы никакого особого события, начиная с которого можно было бы отсчитывать этот возраст.

Действительно, возьмем самый большой мыслимый диаметр Вселенной. Зададим некоторое малое число, принятое за диаметр «точки». Даже в предположении, что Вселенная из этого точечного состояния расширилась до нынешнего большого, рассчитаем обратный ход событий и отметим дату, когда Вселенная была сжата до указанного диаметра. Это всего лишь дата, поскольку теоретически можно говорить и о дальнейшем сжатии в два раза, в четыре, в восемь и сколько угодно раз. Поэтому указанное гипотетическое глобальное расширение не имеет никакого отношения к точному возрасту Вселенной до тех пор, пока не будет принята гипотеза о конечных размерах Вселенной.

На *Рис. 1* вопросительными знаками отмечена область Вселенной, в которой, согласно современным представлениям, не существует даже самого пространства как такового.



*Рис. 1.* Упрощенная схема представления о том, что Вселенная лишь в ограниченном объеме заполнена галактиками; при этом необходимо указание определенного центра Вселенной; выбор Солнечной системы (в центре) обусловлен такой трактовкой, которая отождествляет видимую часть Вселенной с её фактическими размерами; цвет символизирует скорость удаления объектов от центра, черные объекты символизируют «темную материю», которая не видима, в определенном понятии не входит в состав Вселенной, и ответственна за «разбегание» Вселенной; красными стрелками отмечено направление движения объектов во Вселенной

Альтернативная картина мира показана на Рис. 2. Согласно этому представлению местоположение Солнечной системы не имеет никаких глобальных особенностей, оно случайно. Все остальные места во Вселенной принципиально ничем не отличаются, они таковы же, с небольшими вариациями. В некоторых местах материи может случайно оказаться больше, в других местах её меньше, некоторые объекты больше, другие меньше, но в целом принципиально иного во Вселенной нет ничего, а есть в той или иной степени везде одно и то же. Если бы можно было сделать космический корабль, способный двигаться в каком-либо заданном направлении сколь угодно долго, не сворачивая, а лишь огибая препятствия, такой гипотетический космический корабль никогда не встретил бы на

своем пути ничего того, чего не бывает в видимой части Вселенной. Он повстречал бы совершенно иные галактики, туманности и метagalaktiki, звезды и планеты. Этот корабль мог бы покинуть видимую нами часть Вселенной, после этого он мог бы улететь на расстояние в десять, сто, тысячу, миллион раз превышающее видимый размер Вселенной, все равно конца её он бы не обнаружил. Принципиальным утверждением здесь является то, что не существует такого расстояния принципиально, на котором Вселенная заканчивается. Ничего кроме пространства, заполненного материей, в природе быть не может. Пространство окончиться не может, как не может окончиться, или начаться время. Время существует всегда, пространство существует везде.

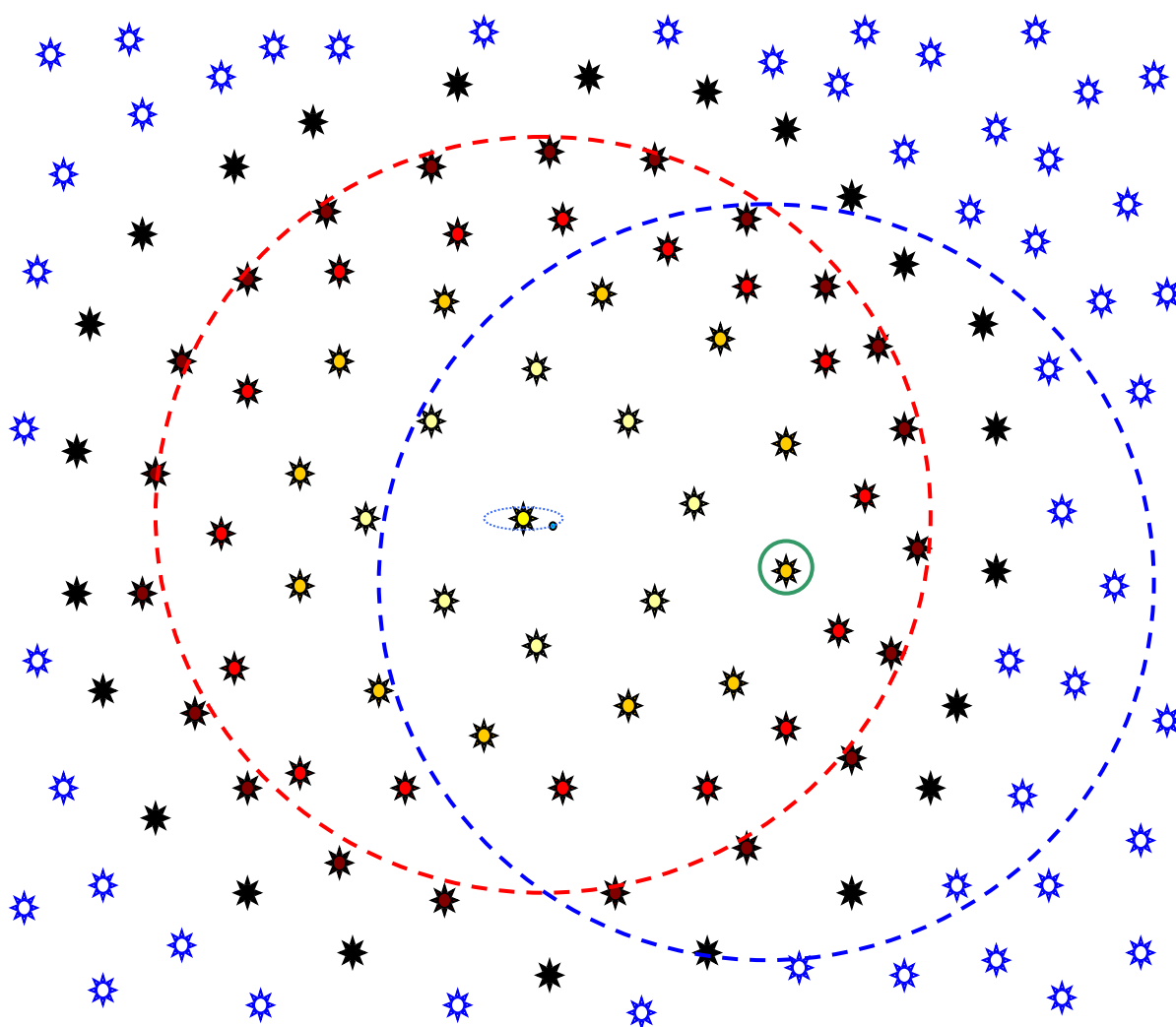


Рис. 2. Упрощенная схема представления о том, что Вселенная относительно равномерно заполнена галактиками; при этом нет определенного центра Вселенной; выбор Солнечной системы (в центре) обусловлен лишь местоположением наблюдателя и ничем иным; цвет символизирует только восприятие спектра звезд наблюдателем в Солнечной системе; черным цветом отмечены объекты, которые не видны в видимом диапазоне излучения; синий цвет маркирует объекты, о которых в Солнечной системе нет вовсе никакой информации, так как они не видны никакими способами регистрации. Сфера означает границы видимого из Солнечной системы размера Вселенной; синей сферой показана граница видимой части Вселенной для наблюдателя на звезде, отмеченной зеленым кружком

Поэтому на Рис. 2 различным цветом обозначены не материальные объекты с

принципиально различными свойствами (включая скорость их движения), а в той или

иной степени однородные галактики и метagalaktiki, которые встречаются в различных частях Вселенной с приблизительно одинаковой вероятностью. Цветом здесь маркировано только оптическое свойство излучения от этих объектов при наблюдении их на планете Земля. Наиболее близкие объекты обладают наименьшим сдвигом спектра свечения в красную область, они обозначены желтым цветом. Более далекие объекты обозначены красным цветом, самые далекие – темно красным. Те объекты, которые не видны в видимой части светового спектра обозначены черным цветом. Свет от этих объектов не видим, но он превращается в радиочастотное излучение вне оптического диапазона. Синим цветом обозначены такие объекты, излучение которых вовсе не доходит до планеты Земля ни в какой части спектра. Никакими приборами нельзя обнаружить наличие этих объектов в космосе, настолько они далеки. Также на *Рис. 2* показан условно выделенный другой объект, обведенный зеленой окружностью. Если бы наблюдатели находились на этом объекте, то часть невидимых объектов, отмеченных синим цветом, была бы видна, тогда как часть видимых нам объектов не была бы видна наблюдателю из этой области. Как видим, в этом случае в картине строения Вселенной нет никаких вопросительных знаков. Хотя мы не можем достоверно знать, что находится вне видимых пределов Вселенной, мы можем предполагать, что там находится то же самое. Альтернативная гипотеза безосновательна. Если мы не можем знать, что находится там, куда нам не дано заглянуть, мы не можем предполагать, что там находится то, примеров чего мы никогда не встречали. Это нечто не подчиняется известным нам законам природы, оно коренным образом отличается не только от того, что мы можем наблюдать, но даже и от того, что мы можем вообразить. Так почему же мы должны принимать это нечто на веру?

### **ЗАВЕДОМО ОТВЕРГАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Считаем, что следует отказаться от нижеследующих гипотез или предположений, как заведомо ошибочных.

«Пространство – это физическая сущность, которая может вступать во взаимодействия с другими объектами».

«Пространство может иметь больше трех независимых координат».

«Время – это одна из координат пространства (то есть четвертая координата), вследствие чего пространственно-временной континуум – это объективная четырехмерная реальность». На самом деле время – это время, а координаты пространства – это координаты пространства. Никому не дано произвольно перемещаться во времени, равно как пребывать «в покое» относительно времени, или двигаться

с иной скоростью, нежели все остальные объекты и системы. При этом нет никаких подобных ограничений на перемещения в пространстве. Можно покоиться в пространстве, можно произвольно (с учетом ограниченных сил и определенной инерционности, а также с учетом препятствий) перемещаться в пространстве, можно покинуть любую точку пространства и можно вернуться в нее любое количество раз. Ничего подобного со временем проделывать нельзя.

«Пространство может где-то заканчиваться». Допустим, что пространство закончилось. Что дальше? Само слово «дальше» указывает на наличие пространства. Закончиться может лишь что-либо физическое. Даже если бы вся масса всех небесных светил была сосредоточена в ограниченной сфере, и если бы дальше не было бы ни одного астрономического объекта, не было бы даже космической пыли, то все равно дальше было бы пространство. Если бы даже свет далее не распространялся, и даже если бы далее некоторой границы невозможно было бы переместить никакой предмет, то следовало бы признать, что найдено препятствие, стена, барьер, но этот барьер также существовал бы в пространстве. И хотя гипотеза о каком-либо глобальном барьере также необоснованна, она была бы ошибочной, если бы её приняли, она не столь дика как гипотеза о том, что за некими пределами пространство как таковое заканчивается вовсе.

«Время когда-то началось и когда-то закончилось». Принять это невозможно. Само понятие «когда-то» предполагает, что и до этого что-то было. Сколь бы давно ни произошло какое-либо событие, до него тоже существовало время, существовало пространство, существовала материя, существовал космос. Следовательно, существовали и звезды, и галактики, и метagalaktiki, и прочие объекты. И всегда какие-то объекты были более старыми, чем другие. И это никогда не изменится, то есть всегда будет космос, будет пространство и время, будут космические объекты, и на них будут происходить разнообразные явления. В этой связи понятие о глобальном зарождении жизни утрачивает свою актуальность. Существование материи не требует принятия идеи о том, что когда-то материи не было, но когда-то она зародилась. Коль скоро не зарождалась материя, не зарождалось пространство, не зарождалось время, то не понятно, почему должна зарождаться жизнь. Она существует всегда, хотя и не везде. Жизнь способна рассеивать свои семена в воде, в том числе в замершей воде, в том числе в кометах. Кометы преодолевают любые расстояния. Комета таким образом может передавать семена жизни не только с планеты на планету в пределах одной системы, но из одной системы в другую.

«Экспериментаторы могут располагать средством (мерой, эталоном) для объективного измерения размеров и кривизны пространства». Это ошибка. Таковыми мерами не могут служить ни одно из твердых тел, включая, например, конструкцию интерферометра. Таковыми мерами не может служить свет, его направление и скорость. Все указанные и не указанные физические объекты, и явления зависят от условий их проявления, в том числе и от скорости объектов или источников излучения относительно светонесущей среды. Поэтому никакой из этих объектов или явлений не является инвариантным. Все они зависят от этих и иных условий. Искривление хода луча не есть искривление пространства, изменение размеров интерферометра не есть изменение размеров пространства, неизменность оптического пути по отношению к оптической системе, содержащей зеркала и другие элементы, не доказывает (и не опровергает) стационарности каждого из этих явлений, нельзя исключить, что изменяется и то, и другое, сохраняя соотношения между собой.

«Опыт с интерферометром Майкельсона доказывает отсутствие эфира». Это ошибочные заключения. Опыт с интерферометром был сделан с использованием неинвариантных к скорости света жестких конструкций, которые при всей своей жесткости неминуемо должны изменять свои геометрические размеры при движении в эфире. Этого нельзя сказать о пространстве. Поэтому плечи интерферометра, взятые как меры пространственных расстояний, взяты в этом качестве неправомочно. Данный опыт лишь доказывает, что приращение разности фаз в плечах не выявлено, что может легко объясняться аналогичным приращением разности длин интерферометра вследствие необходимости того, что атомы и молекулы твердых тел удерживаются на своих местах электромагнитными взаимодействиями. Следовательно, на условия равновесия оказывает влияние скорость света, следовательно, если эфир существует, он оказывает влияние и на длину оптического пути света, и на размеры физического интерферометра, причем это влияние должно быть одинаковым.

«Опыт с интерферометром Майкельсона доказывает постоянство скорости света в вакууме». Опыт Майкельсона делался не в вакууме, и в нем измерялась не скорость света, а приращение разности фаз. Этот опыт ставился в воздухе, то есть в среде. В этом опыте скорость света никак не измеряется, и если она изменяется так, что приращение разности фаз не наблюдается, то это изменение никак не проявится. По результатам этого опыта не вычислялась скорость света. Скорость света в воздухе необоснованно приравнена к скорости света в вакууме. Доподлинно известно, что скорость света в воздухе и любой другой среде именно зависит от скорости этой среды

относительно источника света. Следовательно, данный эксперимент не дает никаких сведений относительно вакуума, он, однако, дает сведения относительно воздуха. При этом очевидно, что скорость света в воздухе должна изменяться, и если результат отсутствия перемещения интерференционных полос трактовать как доказательства отсутствия среды, то следовало бы сделать вывод об отсутствии воздуха, а не об отсутствии эфира. Этот вывод был бы отвергнут как заведомо ложный, поскольку наличие воздуха подтверждается многими другими фактами и экспериментами. Следовательно, по результатам опыта Майкельсона сделан заведомо неверный вывод.

Также ошибочно считается, что истинная размерность пространства вовсе не равна трем, всерьез обсуждается даже не четырехмерное пространство (где четвертой координатой берется время), а  $n$ -мерное, где  $n$  указывается в различных источниках различным, достигая значения 18. То есть гипотеза о том, что пространство на самом деле 18-мерное, а наше восприятие его как трехмерное обусловлено всего лишь нашим несовершенством. С этим нельзя согласиться. Возможность написать формулу для 18-мерного пространства не доказывает возможности существования такого пространства наяву.

## **ПРИНИМАЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Наша позиция основана на некоторых предположениях, которые мы принимаем не зависимо от того, можем ли мы их доказать, или не можем.

Природа существует не по божьему замыслу, а сама по себе, поскольку существование – её естественное состояние. Природа состоит из материи, материя расположена в пространстве, её существование происходит во времени.

Пространство существует объективно, оно бесконечно во всех направлениях.

Время течет объективно, в одном направлении, не зависимо ни от каких физических действий, включая движение каких-либо объектов или систем.

Свет – это одна из форм электромагнитного излучения.

Любое электромагнитное излучение является волной, распространяющейся в среде. Возможность или невозможность выявить влияние скорости объектов или систем относительно этой среды не является достаточным основанием для пересмотра этого положения.

Электромагнитное поле ответственно за электромагнитное взаимодействие. Частными случаями этого взаимодействия являются электростатическое (электрическое) и магнитное взаимодействие.

Размерность в пространстве – это лишь способ описания положений. Привязка размерности к реальным объектам – это лишь

способ отыскания объективных оснований для отсчета размерности. Любые физические объекты существуют в целостной форме лишь на ограниченном интервале времени, они не вечны. Пространство как таковое вечно. Пространство в этом смысле первично, физические объекты вторичны, но только в этом смысле. Искривление любых физических объектов или любых траекторий излучений или полетов вещества не тождественно искривлению пространства. Пространство как таковое искривляться не может.

Ход времени постоянен, необратим, равномерен и универсален (инвариантен) во всей Вселенной. Невозможность объективно отличить, какие из двух часов более точны никак не изменяет этой ситуации, объективно время одинаково везде. Также как невозможность объективно измерить размеры (протяженность, объем и так далее) какого-либо объекта не отменяет ситуации, что любой объект имеет объективно единственным образом определенные размеры, которые не могут изменяться переходом из одной системы отсчета в другую.

При этом размеры объекта могут быть изменены вследствие каких-либо физических воздействий на него. Размеры пространства не может быть изменено никакими воздействиями в нем. Пространство не вступает во взаимодействие, оно лишь место таких взаимодействий, а его размеры – лишь мера движений и протяженности.

Вследствие движения системы могут возникать ошибки в определении размеров физических объектов. Но поскольку в движущейся системе движутся и измеряемый объект, и эталон размера, соотношение между ними может оставаться одинаковым. Это может явиться причиной невозможности (по меньшей мере, в некоторых экспериментах) объективно отличить неподвижную систему от движущейся системы. Невозможность отличия не тождественна отсутствию отличий.

Коль скоро время течет объективно и размеры любого объекта объективны, то и скорости объективно единственны. Это относится и к скорости света, и к скорости распространения электромагнитного поля вообще, как такового, и к скорости распространения гравитационного поля.

Гравитационное поле также распространяется в среде. Нет оснований для предположения одновременного существования двух сред, одна из которых переносит электромагнитное излучение, а другая переносит излучение, осуществляющее гравитационное взаимодействие. Достаточно предположить единственную среду, которая переносит оба вида этих излучений.

Полевое взаимодействие – это два вида взаимодействий: гравитационное и электромагнитное.

Полевое взаимодействие осуществляется между объектом, обладающим полем, и полем. Прямого взаимодействия между двумя полями или между двумя объектами не имеет места. Поля не взаимодействуют, а складываются, объекты не взаимодействуют между собой, а взаимодействуют с полем. Взаимодействие объекта с полем идет в обе стороны: объект порождает поле, а поле влияет на силы, приложенные к объекту. Перемещение объекта влияет на изменение поля. При наличии двух объектов каждый из объектов порождает поле, суммарное поле влияет на каждый из объектов.

Притяжение двух гравитационных объектов есть стремление каждого из объектов двигаться под действием поля, и есть изменение поля под действием движения каждого из объектов.

Полевое взаимодействие имеет место и при наличии только одного единственного объекта с полем. А именно, инерционность массивного объекта является частным случаем гравитационного взаимодействия. Электромагнитная инерционность заряженного объекта есть электромагнитное взаимодействие этого объекта с собственным полем. Взаимодействие массивного объекта с собственным полем состоит в том, что поле стремится удержать этот объект в том же состоянии, в каком он был, сохранить движение без ускорения, то есть сохранить его покой или поступательное равномерное движение. Попытка придать ускорение объекту вызывает противодействие со стороны поля, поэтому объект обладает инерционностью, для придания ему ускорения требуется некоторая сила, обратно пропорциональная этой инертности, называемой массой. Аналогичное свойство имеется у заряженной частицы, которое называется электромагнитной массой. Вследствие этого имеет место самоиндукция, то есть придание ускорения заряженной частице требует большей силы, нежели придание ускорения незаряженной частице такой же массой. Если бы даже масса частицы была нулевой, но ее заряд был ненулевым, то придание ускорения такой частице потребовало бы определенной силы. Это наталкивает на предположение о некоторой единой или родственной природе гравитационной массы и электромагнитных свойств. Однако это предположение до настоящего времени не доказано, но и не опровергнуто. Поиск этого родства занимается та часть науки, которая пытается создать «единую теорию поля».

Корпускулярные свойства электромагнитного или гравитационного излучения не доказаны. Предположительно, эта идея ошибочна.

Физические законы едины для всей Вселенной, они действуют неограниченно во времени в пространстве – везде и всегда. Эти законы действуют независимо от нашего знания о них. Если наши формулировки физических законов не точны, то это может привести к



кажущемуся нарушению действия физического закона. Из этого не следует нарушения закона, из этого лишь следует недостаточная точность формулировок этого закона. Формулировки убоги вследствие пренебрежения рядом особенностей. Если эти пренебрежения устранить, законы станут точны, и нарушаться они не будут.

Важнейший из законов – закон сохранения массы (вещества).

Родственный с ним закон – закон сохранения энергии.

Долгое время эти два закона существовали раздельно. С некоторыми оговорками можно сказать, что часть массы может быть преобразовано в энергию и наоборот, поэтому сохраняется совокупность массы и энергии с определенным пересчетным коэффициентом одного в другое.

Считается, что в теории относительности они объединены в единый закон сохранения массы и вещества (совокупно). Это часто используется как доказательство правильности этой теории. На самом деле указание на связь массы и энергии дано отнюдь не в теории относительности, а задолго до ее создания, и не автором этой теории. Итак, имеется указание на то, что в некоторых экспериментах энергия проявляет себя как масса, а масса может быть преобразована в энергию. Из этого сделан ошибочный вывод, что всякая масса есть энергия, и что всякая энергия есть масса, и что между ними имеет место соотношение «энергия есть произведение массы на скорость света в вакууме в квадрате». Иными словами, энергия, скрытая в теле, обладающем массой – есть удвоенная кинетическая энергия этого тела, если бы он двигался со скоростью света в вакууме. Нельзя исключить, что всякая масса образуется вследствие движения элементарных частиц, не обладающих массой, со скоростью света по замкнутым траекториям. Эта гипотеза может служить основой для понимания о том, что часть массы может быть преобразовано в энергию, равно как часть энергии может быть преобразовано в массу. При этом нет никакого уничтожения массы. Человечеству удавалось ставить опыты, когда часть массы преобразовывалась в энергию. Об обратных преобразованиях пока не известно. Но они неминуемо где-то должны происходить, иначе бы вся масса со временем преобразовалась в энергию, и во Вселенной не осталось бы массы как таковой. Однако можно с основанием говорить лишь о преобразовании той массы, которая составляет разницу между массой атома и суммой масс входящих в него элементарных частиц. Не известно опытов, которые бы преобразовывали нуклоны в энергию. Поэтому можно предполагать, что справедлив закон сохранения количества нуклонов до тех пор, пока не доказано обратное.

Никакое изменение темпа хода каких-либо часов не доказывает изменения объективного хода времени. Более того, если бы ход часов изменился одновременно с ходом времени, то этого нельзя было бы выявить.

Следует отличать фактический ход часов от воспринимаемого хода этих часов из системы, относительно которых эти часы движутся. Ход приближающихся к наблюдателю часов воспринимается ускоренным, ход удаляющихся часов воспринимается замедленным, но фактически ход часов остается неизменным. Но даже если бы ход часов изменился, это свидетельствовало бы лишь об изменении действия механизма, но не об изменении хода времени как такового.

### **БЫЛ ЛИ ВЗРЫВ, И БЫЛО ЛИ ЗАРОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ**

Считается, что предположительный «Взрыв» Вселенной произошел вследствие некоторой объективной причины, которая не известна. Но, всё же, якобы, этот взрыв является результатом действия некоторых законов, которые являются частью неотъемлемых свойств физической природы материи. Отыскание этих законов осуществляется чисто гипотетически исключительно математическими методами на основании соотношений, которые взяты из теории многомерных пространств.

Хотя источников взрыва называются внутренние причины, источником сил расширения Вселенной указываются внешние причины, а именно – темная материя, которая находится вовне по отношению к остальной материи Вселенной (см. Рис. 1). Если вся видимая часть Вселенной расширяется, то темная материя, как минимум, находится в стационарном состоянии. Во всяком случае, не найдено утверждений о том, что она расширяется, или что она сужается.

Несмотря на якобы расширение Вселенной, считается, что скорость света в вакууме все же остается постоянной и она неизменна во всех направлениях. При этом все расстояния между небесными телами, как и сами размеры небесных тел, и даже расстояния между атомами и молекулами, по указанному ошибочному мнению также расширяются во времени. Стационарным мерилем расстояний остается лишь скорость света, все остальное непрерывно расширяется. Именно поэтому никто этого расширения не ощущает, поскольку расширяется абсолютно всё (кроме скорости света). Рассматриваются также вопросы влияния этого расширения на физические законы материального мира, в том числе на фундаментальные физические константы. Осуществляется оценка их изменения во времени, хотя достоверного изменения пока не обнаружено, то есть отклонения результатов измерений всегда остаются в пределах ошибки измерений, достоверной регрессии не выявлено.

## О СТАРТОВЫХ УСЛОВИЯХ РАСШИРЕНИЯ

Одно из предположительных следствий такого допущения состоит в том, что указанное расширение происходило столь долго, сколь это было возможно, то есть фактически с того самого момента, когда вся материя Вселенной была сосредоточена в точке, ни раньше, ни позже.

Это не единственно возможное допущение. Можно было бы поставить задачу выбора из следующих возможностей:

1. Предположение, что Вселенная была сжата в точку, после чего стала расширяться. В этом случае возникают вопросы:

а. Какие именно размеры следует считать «точкой»? Шар диаметром в миллион километров для Вселенной можно назвать точкой, с другой стороны, даже шар диаметром в одну миллионную долю миллиметра, строго говоря, точкой не является.

б. Из чего может следовать убежденность, что Вселенная была сжата именно в точку, именно до нулевого диаметра? Природа демонстрирует множество расширяющихся объектов, и ни один из них не был сжат «в точку», не был изначально нулевого размера. Часто используемая аналогия с надувающимся шаром также указывает именно на ненулевые стартовые размеры. Надувной шар, во-первых, изначально не точечно мал, во-вторых, расширяется не самопроизвольно, а лишь под действием возрастающего внутреннего давления, в-третьих, может расширяться лишь в ограниченных пределах, после чего лопнет. Расширяясь, он истончается.

с. Сколь долго Вселенная пребывала в сжатом состоянии – длительно, или лишь мгновение? Если длительно, то следует указать как причину устойчивости такого состояния, так и причину нарушения устойчивости этого состояния. Если же не длительно, то, по-видимому, логика требует указать, что процесс расширения является естественным развитием другого более глобального процесса, например, предварительного сжатия. Но в этом случае мы приходим к модели «пульсирующей Вселенной», и сжатие ее до точечных размеров является лишь частным случаем гипотезы, который ничем не лучше предположения о сжатии лишь до некоторых конечных размеров (см. следующий пункт). При этом предположение о сжатии в точку видится наименее обоснованным, то есть наиболее фантастичным.

2. Можно было бы предположить, что Вселенная была сжата не до нулевых (точечных) размеров, а расширение началось с

какого-то стартового диаметра. Тут возникают другие вопросы:

а. Каковы были размеры максимально сжатой Вселенной?

б. Чем определялись эти размеры: внешними силами или внутренними силами (и ограничениями)? Предположение о внешних силах заставляет заниматься поиском их источника. Но если под Вселенной понимать всё, что имеется материального в мире, то ничто в мире не может относиться не к Вселенной, всякая «внешняя» сила должна быть признана лишь частью самой Вселенной. Следовательно, остается лишь возможность признания внутренних сил. Но это требует отказа от принятия Вселенной как совокупности материальных астрономических объектов, потому что все они должны были бы подчиняться тем же правилам, то есть двигаться под действием гравитационных сил. Нет оснований считать, что часть материальных объектов обладает неким сверхъестественным свойством создавать силы, управляющие движением других объектов, но не подчиняться действию сил от этих других объектов. Очевидно, что всякая внешняя сила, гипотетически создаваемая некоторым невидимым скоплением материи снаружи Вселенной – это недопустимая и безграмотная абстракция. Эта материя вовне Вселенной должна притягиваться к ее центру, то есть сближаться с остальными материальными телами, чего в теории не рассматривается и не допускается. И в соответствии с простыми и легко доказуемыми рассуждениями, даже если предположить скопление гигантских масс за пределами Вселенной, это скопление не могло бы породить внешней силы, которая бы заставляла объекты Вселенной двигаться в разные стороны от центра. Сумма всех гравитационных сил от сферической оболочки (равной толщины) внутри таковой оболочки равна нулю. Если же принять гипотезу оболочки не равной толщины, то можно для расчета сил убрать из рассмотрения оболочку толщины, равной минимальному её значению. Тогда останется не целостная оболочка, а лишь её фрагменты. Следовательно, темная материя могла бы притягивать массы Вселенной в одном направлении, но не смогла бы «растаскивать» Вселенную во все стороны одинаково. На Рис. 3 показана условно эта гипотетическая ситуация. Сила  $F_1$  обусловлена действием «темной материи», которая находится в указанном сегменте, удаленном на расстояние  $L_1$ . В обратном направлении действует сила  $F_1$ , обусловленная действием «темной материи», которая находится в другом сегменте, удаленном на расстояние  $L_2$ . Масса материи

в первом сегменте больше, чем масса материи в противоположном втором сегменте в  $K = (L_2/L_1)^2$  раз. Действие гравитационной силы обратно пропорционально квадрату расстояний. Поэтому при равных массах двух этих сегментов действие силы от первого сегмента было бы в  $K = (L_2/L_1)^2$  раз меньше, чем действие силы от второго сегмента. С учетом соотношения масс на этот же коэффициент следует разделить указанное соотношение сил, то есть в итоге силы,

действующие на объект, выделенный синей окружностью, от сегментов в двух указанных направлениях будет равным по величине и противоположным по направлению. Тем самым суммарного действия от таких сил на данный объект не будет никакого. Отсюда вывод: «темная материя» ничего бы не изменила в соотношении действующих сил. Следовательно, гипотеза о существовании «темной материи» совершенно безосновательна.

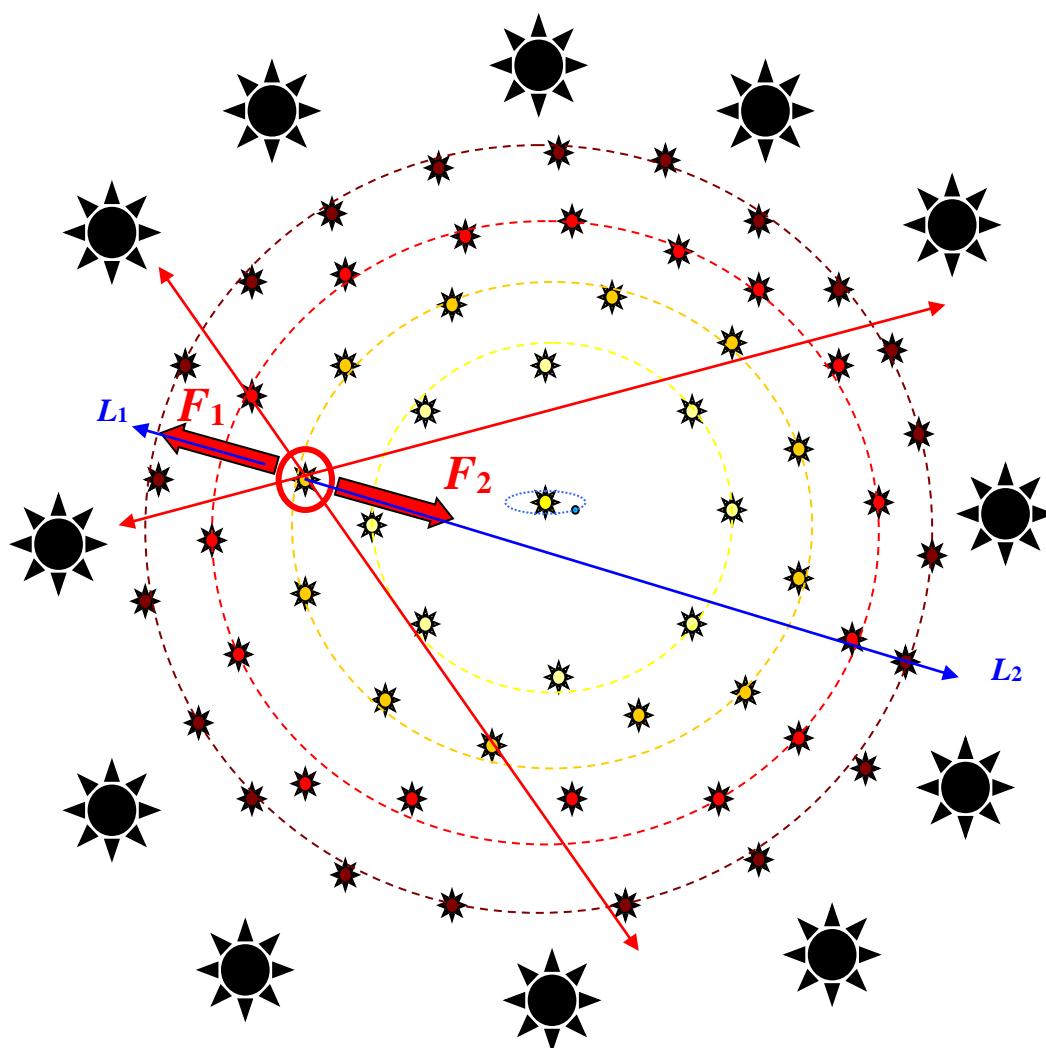


Рис. 3. Если предположить существование «темной материи», то действие всех сил от нее в любой точке внутри показанной сферы равно нулю: на Рис. 1 видно, что все силы, которые были бы приложены объекту в центре рисунка, компенсируют друг друга, на этом рисунке показано, что это имеет место не только в центре

3. Можно предположить, что Вселенная пульсирует, то есть периодически сначала несколько расширяется, потом прекращает расширение, затем несколько сжимается, потом прекращает сжатие и, наконец, снова несколько расширяется, и так в цикле. Это предположение частично похоже на предыдущее с теми же проблемами. Она отличается следующими особенностями:

а. Для принятия такого предположения следовало бы указать на источник пульсирующей силы, или на два источника, влияние которых попеременно преобладает.

С этой гипотезой явно меньше проблем, чем с другими. Например, имеется следующая возможность. Силой, ответственной за сжатие Вселенной, можно было бы указать гравитационную силу. Действительно, если Вселенная имеет ограниченные размеры, то каждый объект в ней должен притягиваться к центру масс (с той оговоркой, что массы, распределенные равномерно во внешних сферах, уравновешивают друг друга), то есть Вселенная имеет объективные основания для сжатия. Указанная картина показана условно на Рис. 4. Остается лишь найти основания

для расширения (выдвинуть гипотезу о причинах расширения). Например, таковой причиной мог бы быть взрыв, который возникает вследствие чрезвычайно плотной упаковки вещества в пространстве. Эта гипотеза всерьез научной общественностью не обсуждается. Указанная модель по Рис. 4 могла бы проиллюстрировать историю эволюции отдельно взятой галактики или звезды. Действительно, в результате чрезвычайно плотного сжатия материи в звезде, в ее центре должны были бы начаться термоядерные реакции. Это привело бы к резкому увеличению объема внутри этой сверхзвезды, вследствие чего произошел бы взрыв, вещество разлетелось бы в разные стороны. В дальнейшем под действием гравитационных сил это вещество начало бы замедлять скорость удаления от центра, а затем и начать двигаться к центру, для того, чтобы со временем снова образовать единое небесное тело, которое снова взорвется вследствие чрезвычайного сжатия. Но эта

модель не применима ко Вселенной в целом как таковой.

б. В случае принятия гипотезы о расширении вследствие высвобождения энергии, вещество должно просто разлетаться по инерции, оно не должно двигаться с ускорением. Это скопление простыми и легко доказуемыми рассуждениями даже скопление гигантских масс за пределами Вселенной не могло бы и

4. Чисто математически можно было бы продолжить развитие этих абстракций, предположив, например, что до того, как диаметр Вселенной был равен нулю, он был равен отрицательному значению. Этому даже можно при желании дать такую трактовку, что вся материя была антивеществом. И, соответственно, антивещество сжималось. Но такой гипотезы не выдвигается официальной наукой. Мы лишь отмечаем, что среди фантастических гипотез не все возможные фантазии задействованы.

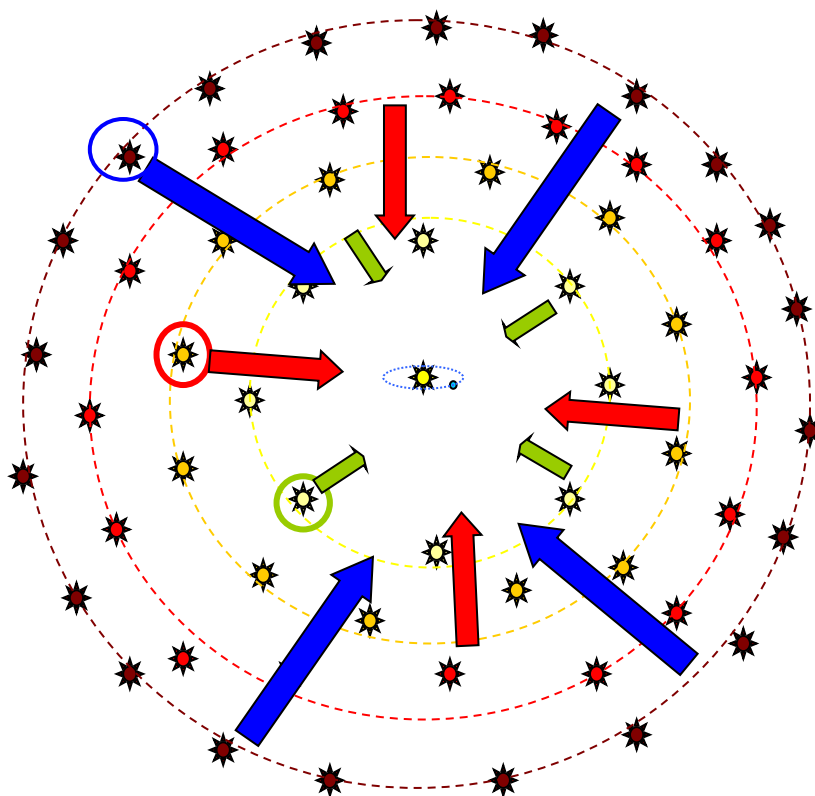


Рис. 4. Иллюстрация того, что если бы Вселенная имела ограниченные размеры, то гравитационные силы стремились бы её сжать в точку, причем, чем дальше объект от центра масс, тем сильнее сила

### ИЗ ЧЕГО РОДЯТСЯ ПРОТИВОРЕЧИЯ

Отторжение официальной картины порождается отнюдь не стремлением к оригинальности или самомнением. Проблема, порождаемая официальной картиной мира, состоит в том, что чем больше её изучаешь, тем меньше удается согласиться с ней. Причина того, что большинство людей не оспаривают эту

картину именно в том, что это большинство попросту с ней не знакомо, либо знакомо во фрагментарных утверждениях. Даже при условии, что большинству специалистов по астрофизике знакомы абсолютно все утверждения, входящие в так называемую «современную картину мира», крайне сомнительно, чтобы кто-либо попытался соединить их воедино с целью получения

единой и непротиворечивой картины мироздания.

Непротиворечивость приходится отдельно отстаивать, поскольку со времен необоснованной победы теории относительности (победы не в подлинно научных дискуссиях, а в официальных резолюциях людей, занимающихся наукой), непротиворечивость, как и «здравый смысл» перестали быть обязательным требованием любой научной гипотезы и тем более научной теории.

Отказ от непротиворечивости специально провозглашается. А для тех, кто этого не осознает, приводятся карикатурные словесные иллюстрации наподобие утверждений, что до теории относительности считалось, что всегда один плюс один – два, но вот теория относительности якобы убедительно доказала, что один плюс один может равняться одному. Применительно к скорости света конкретно утверждается « $C + C = C$ ».

Согласиться с этим можно лишь под давлением многих авторитетов, либо под влиянием личной заинтересованности. Мы соглашаться с этим не намерены.

Действительно, картина, показанная на Рис. 1, содержит ряд явных уклонений от истины:

1. Астрономические объекты сосредоточены лишь в ограниченной области пространства.

2. Как следствие, у этой группы имеется центр.

3. Как следствие наблюдений с Земли, именно Земля помещена в центр указанного сосредоточения. Иного не может быть, поскольку границы видимой части Вселенной простираются во все стороны приблизительно на равные расстояния от наблюдателя, то есть от Солнечной системы.

4. За пределами этой видимой Вселенной помещается без всяких обоснований «таинственная темная материя», а что находится за пределами этой «темной материи», остаётся и вовсе темным.

5. «Темная материя» также расположена симметрично относительно центра, в котором находится Солнечная система с планетой Земля.

6. Вся материя разлетается в разные стороны. Физических причин этому нет. И хотя ряд астрофизиков утверждает, что Солнечная система отнюдь не находится в центре разлетающейся Вселенной, все же указание на ограниченные размеры Вселенной неминуемо приводят к выводу, что именно там она и находится, что является явным и неразрешимым противоречием.

Все фактические наблюдения, однако, убеждают нас в совершенно противоположных представлениях.

1. Астрономические наблюдения доказывают, что Солнечная система не является ничем особенным по сравнению с остальными

небесными системами. Имеются звезды, больше Солнца, имеются и звезды меньше Солнца.

2. Наблюдения заставляют думать, что и местоположение Солнечной системы не является особенным, оно одно из многих, и для нас оно особенное лишь вследствие того, что мы находимся именно на этой системе, но ничем прочим это местоположение не отличается.

3. Наблюдения указывают на то, что вещество в природе встречается достаточно редко, но все же вследствие огромных расстояний, которые может преодолевать свет, до нас доходит свечение очень многих звезд. И во всей видимой части Вселенной распределение этого вещества не отличается какими-либо глобальными особенностями. Если какие-то объекты наблюдаются в Северном полушарии звездного неба, то близкие или аналогичные объекты могут быть наблюдаемы и в Южном полушарии.

Итак, ни опыт, ни фантазия, ни здравый смысл не дают оснований считать пространство конечным. Также нет оснований считать конечным время. Также нет оснований считать звезды, галактики, метагалактики и так далее чем-то особенным, имеющимся только в относительной близости к нам, и полностью отсутствующим на каком-то немислимо далеком расстоянии от нас. Напротив, следует предположить, что сколь бы ни удалялись мы (к сожалению, только мысленно) от места нашего пребывания, мы не смогли бы встретить чего-то принципиально иного, например, полного отсутствия звезд, или некую глобально непреодолимую оболочку, или таинственную «темную материю», и так далее.

## РАСШИРЯЕТСЯ ЛИ ВСЕЛЕННАЯ

Ранее было многократно показано, что Вселенная вовсе не расширяется. Сдвиг в спектре свечения звезд объясняется тем, что свет, двигаясь в пространстве крайне долго, постепенно теряет свою энергию. Это приводит к уменьшению всех частот, то есть спектр света смещается в красную область. Это дисперсия. Этот эффект естественен для распространения любой волны.

Предположение, что скорость света всегда постоянна, родилась из ошибочной трактовки Эйнштейном результатов опыта Майкельсона. В любом случае этот опыт проводился в воздухе, и расстояния, на которых измерялись приращения фазы, не превышали поначалу нескольких десятков метров. Но даже если делать этот опыт на расстоянии в сто или даже в тысячу километров, этот опыт не будет показательным для ситуации с расстояниями, измеряющимися в световых годах, а тем более в тысячах и миллионах световых лет.

Если взять коэффициент сдвига частот, то есть отношение величины частотного сдвига к расстоянию, которое прошел свет, применить

этот коэффициент для расчета такого сдвига в любых возможных экспериментах не только на Земле, но и в рамках Солнечной системы, то величина сдвига окажется столь малой, что никаким экспериментом ее выявить нельзя. Погрешность измерений несоизмеримо больше, чем величина этого сдвига. Следовательно, надо признать, что никакими подобными экспериментами постоянства скорости света доказать нельзя. То есть нельзя доказать его постоянства в масштабах, относящихся к распространению света от астрономических звезд.

Собственно, природа поставила этот эксперимент за нас многократно, и его результат всегда повторяется. А именно: при распространении света на гигантских расстояниях в его спектре накапливается сдвиг частот в красную область.

В земных условиях такой сдвиг можно было бы получить лишь вследствие движения источника света. Но ведь свет от звезд – это не свет в земных условиях. Поэтому, по меньшей мере, следовало бы рассмотреть обе указанные гипотезы, с целью выбора наиболее обоснованной. Первая гипотеза состоит в том, что звезды удаляются от нас, чем дальше они от нас, тем быстрее они удаляются. Другая гипотеза состоит в том, что свет затухает, чем дальше он движется, тем сильнее затухает.

Согласиться со второй гипотезой мешает квантовая теория света, которая очевидно ошибочна. Согласно квантовой теории свет не только волна, но еще и поток частиц, а частица не может потерять свою часть. При этом забывают, что и в этой теории энергия любой такой частицы, названной фотоном, равна произведению константы на частоту, то есть эта энергия может быть произвольной. А если энергия может быть произвольной, то и потеря любой ее части вполне может иметь места.

Таким образом, любая исходная гипотеза, если её рассмотреть последовательно и всесторонне, не должна отрицать возможности потери светом части своей энергии.

Следует напомнить, что даже если бы отказ от эфира как светонесущей среды был до конца обоснован и справедлив, то и в этом случае не следует исключать из рассмотрения межзвездное вещество, некий разреженный газ, в котором именно и распространяется свет от звезд. Дисперсия света в газе – это уже не гипотеза, а доказанное явление. Сколь бы ни был разрежен газ, он остается газом, и при гигантских расстояниях его влияние непременно должно быть достаточно заметным.

## ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ

Поскольку вопросы были присланы на английском языке, они будут даны в оригинале (на тот случай, если кто-либо из читателей захочет убедиться в адекватности перевода их на русский язык), затем их перевод, затем ответ на вопрос на русском языке. Перевод этих

ответов будет дан в англоязычной версии статьи. Для различия этих фрагментов используется различный шрифт.

*Dear Prof Zhmud,*

*To summarize, it seems to me that your view about the universe is that it is a close entity although with formidable dimension. Besides, it exists only in the part that we can detect—wherever we cannot see or detect, it does not exist. Red shift is not caused by celestial movement, but light disperse through a medium. Before I submit to you my disagreement, I would like to mention what we agree with each other.*

Уважаемый профессор Жмудь,

Подводя итог, мне кажется, что истинная природа Вселенной близка к вашему мнению о ней, хотя ее огромные размеры трудно постичь. К тому же, она существует только в той части, которую мы можем обнаружить; там же (где бы то ни было), где мы не можем ее увидеть или обнаружить, она не существует. Красное смещение не вызвано движением астрономических объектов, а дисперсией света, распространяющегося через среду. Перед тем, как представить вам вопросы, по которым я с вами не согласен, я хотел бы отметить, в чем мы согласны друг с другом.

*1. Dark matter does not exist.*

*2. Ether is a substance whose existence that no one can deny, although so many "authoritative theorists" insist to reject it.*

*3. Space and time are absolute*

1. Темная материя не существует.

2. Эфир представляет собой субстанцию, чье существование никто не может отрицать, хотя столь многие «авторитетные теоретики» настаивают на том, чтобы отклонить его.

3. Пространство и время являются абсолютными.

**Ответ 1.** Это самые важные тезисы, и согласие по ним меня крайне радует.

*Now, to the disagreement.*

*1. "Your opinion is the same which is the official physics opinion on the Universe". You probably know that the so-called official physics claim that space and time are dimensions created by Big Bang. So, no matter how time develops, the universe in their model must be bounded and thus limited, although the limit is out-pushing continuously. The limit is at the so-called "edge" of their universe. Beyond this edge, nothing else, including space and time, can exist. If I claim that the universe is unlimited, and that space and time cannot be created but they are two eternal physical elements in the universe, I don't know how you can fit my model with that one supported by the official physicists. Furthermore, what is wrong with the idea that the universe can be unlimited, which allows the expansion of a visible portion to be wrapped within it? Imagine the man made firework in the night sky. When the firework explodes, it occupies a larger and larger space but forever within the limitless night sky. Just extend the*

*lifetime of the firework to 13.5 billion years, we will get the same picture for the universe.*

Теперь, к несогласию.

1. «Ваше мнение является тем же, что и мнение официальных физиков о Вселенной». Вы, наверное, знаете, что так называемые официальные физики утверждают, что размеры пространства и ход времени созданы Большим взрывом. Таким образом, независимо от того, как течет время, Вселенная в их модели должна расширяться и быть ограниченной, хотя предел непрерывно удаляется. Предел находится в так называемом «краю» представляемой ими Вселенной. За пределами этого края, ничего другого, в том числе пространства и времени, не может существовать. Если я утверждаю, что Вселенная является неограниченной, и что пространство и время не могут быть созданы, но они являются двумя вечными неотъемлемыми физическими элементами во Вселенной, я не знаю, как вы можете приравнять мою модель к модели, поддерживаемой официальной физикой. Кроме того, что неправильного с идеей о том, что Вселенная может быть неограниченной, что позволяет предполагать расширение видимой части, которая располагается внутри неё? Представьте себе, что человек сделал фейерверк в ночном небе. Когда фейерверк взрывается, он занимает все большее и большее пространство, но всегда остается в безграничном ночном небе. Просто продлите срок службы фейерверка до 13,5 миллиарда лет, и мы получим ту же картину для Вселенной.

**Ответ 2.** Естественно, я понимаю, что ваши взгляды не полностью совпадают со взглядами официальной физики. Я указал «В этом вопросе ваши взгляды совпадают с ошибочными взглядами современных физиков», то есть в вопросе о том, что Вселенная расширяется. Я понимаю, что в других вопросах ваши взгляды иные. Если бы я считал их тождественными во всем с общепринятыми теориями, то я бы попросту не стал обсуждать с вами свою теорию. Мне приятно, что вы согласны с тем, что пространство и время бесконечно. Но, к сожалению, вы не пошли дальше в своем понимании Вселенной. Вы поверили авторам ложных и необоснованных теорий, которые считают, что звездное вещество сосредоточено в пределах некоторой сферы конечных размеров (хотя и очень больших), и, ко всему прочему, что эта сфера расширяется. А вместе с этим якобы разлетаются все объекты этой Вселенной, все они с течением времени якобы удаляются друг от друга. Я надеюсь, что мое указание на то, что ваше мнение совпадает с мнением официальной физики, вы не восприняли как оскорбление. Но я имел в виду именно данное мнение по данному вопросу, и оно, это данное мнение, действительно совпадает с мнением на эту тему официальной физики.

2. *With your model, you need to propose a force*

*that can sustain the resistance against the permanent gravitational contraction force from the center of universe. So far, I don't see you mention it.*

2. С помощью вашей модели, вам нужно предложить существование силы, которая может противостоять силе постоянного гравитационного сжатия, происходящей от гравитационного притяжения из центра Вселенной. Насколько я могу судить, я не вижу, чтобы вы упоминали об этом.

**Ответ 3.** Автор письма не понял, что если я отрицаю, что масса Вселенной сосредоточена в какой-то ограниченной области, то, следовательно, я предлагаю другую модель. А именно, я отрицаю модель по Рис. 1, или по Рис. 3, или по Рис. 4. Взамен я предлагаю модель по Рис. 2, согласно которой Звезды и галактики заполняют всю Вселенную равномерно и бесконечно в пространстве в любую сторону. Следовательно, никакой равнодействующей силы по направлению к какому-либо «центру» Вселенной быть не может принципиально. Коль скоро у **Вселенной нет центра**, то не может и существовать сила, направленная к ее центру. **Вся масса Вселенной не сосредоточена, а рассредоточена.** Если **какая-то часть** этой массы и создает гравитационную силу, направленную к центру этой масса, то этот факт не единственный факт среди множества. **Другая часть**, заполненная другими звездами, создает другую гравитационную силу в другом направлении. **Сумма всех сил равна нулю.** В этом нет ничего парадоксального. Естественно, что если вещество равномерно заполняет бесконечную Вселенную, то никакой суммарной гравитационной силы быть не может. Все гравитационные силы – это векторные величины. Поэтому гравитация от огромнейших масс в среднем дает невесомость, поскольку гравитация, которая приходит от разных источников и направлена в разные стороны, друг друга попросту уравнивает, и в итоге в среднем никаких гравитационных сил от всей бесконечной массы Вселенной нет. А есть лишь местные девиации величины и направления гравитационной силы вследствие большей близости к каким-либо большим или гигантским массивным телам. Если расположиться между двумя звездами одинаковой массы на середине пути между ними, гравитация в сумме будет нулевой. Если приблизиться к одной из них больше, чем к другой, то гравитация будет направлена к этой звезде. Если от нее удалиться, то гравитация будет направлена к другой звезде, к которой наблюдатель станет ближе. Это имеет место в среднем везде во Вселенной. Если бы Вселенная имела границы, вне которых вещества не было бы, то непременно для объектов, находящихся на границе, имело бы место действие сил от тех звезд, которые находятся в этой Вселенной, и эти силы были бы направлены к центру Вселенной, как

показано на *Рис. 4*. Это непременно привело бы к движению тел, расположенных на ее границе, к центру. Тогда Вселенная начала бы сжиматься, начиная с объектов на ее окраине. И поскольку Вселенная существует крайне длительное время, то, следовательно, времени было бы достаточно, чтобы вся Вселенная сжалась в один объект гигантской массы. По моим представлениям она существует всегда, вечно. Она не имела начала и не будет иметь конца. И так, если бы Вселенная имела границы, она бы сжалась до состояния предельно возможной плотности. В теории относительности не предполагается предельной границы сжатия материальных тел, поэтому эта теория, с которой я не согласен, допускает возможность сжатия до такого состояния, которое называется «черная дыра», она была бы единственной, это был бы единственный объект во всей Вселенной. Мои представления исключают возможность существования черной дыры, поскольку при большом сжатии возникает ядерная или термоядерная реакция, которая разрушает целостность такого гигантского объекта.

*3. Your red-shift theory is convincing to an extent, but cannot be used to prove that red shift cannot be caused by celestial movement. If the siren tone can change as an ambulance car rapidly move, what prevents light emitted by a moving star from shifting its frequency that is detected by our instrument?*

3. Ваша теория красного смещения убедительна в некоторой степени, но не может быть использована, чтобы доказать, что красное смещение не может быть вызвано движением космических тел. Если тон сирены может меняться по мере того, как машина скорой помощи быстро движется, тогда что мешает свету, испускаемому движущейся звездой, иметь смещение частоты, обнаруженное нашими измерительными инструментами?

**Ответ 4.** Я и не утверждаю, что движение звезд не может порождать сдвига в спектре свечения. Напротив, я утверждаю, что движение звезд обязано порождать таковой сдвиг, и конечно движущиеся звезды порождают этот сдвиг. Я лишь утверждаю, что **ошибочно считать движение звезд единственной причиной сдвига в спектре их излучения, что не позволяет увидеть другую причину.** Другая причина – дисперсия света. Эта причина несущественна при малых расстояниях. При очень больших расстояниях **эта причина является основной.** При некоторых средних расстояниях эти две причины могут давать примерно соизмеримый вклад в общий результат. Возникает большая проблема отличить одну причину от другой. Но в отношении очень далеких звезд этой проблемы нет – совершенно очевидно, что для крайне далеких звезд основная причина сдвига в красную область именно состоит в дисперсии.

Для объяснения этого сдвига движением звезд пришлось бы предположить слишком уж большую скорость движения этих звезд, эта скорость не реальна для реальных астрономических объектов. К сожалению, официальная наука пошла по этому ошибочному пути.

*4. While you must use your red-shift theory to reject the movement of stars, how would you compromise that with blue-shift?*

4. Поскольку, вы, по-видимому, используете вашу теорию красного смещения, чтобы отрицать движение звезд, как вы достигнете компромисса с фактами сдвига спектра в фиолетовую область?

**Ответ 4.** Согласно моей теории, **я отнюдь не отрицаю физических фактов, что красный сдвиг в спектре получается вследствие удаления звезды от нас.** Всякое движение источника света сказывается на воспринимаемом спектре частот. Это – доплеровский сдвиг. Это явление не оспоримо. Не оспариваю я и того, что в спектре приближающейся звезды возникает сдвиг в фиолетовую область. Эти два факта бесспорны. Эти факты дают свой вклад. Также если звезда покоится по отношению к нам, то сдвига в спектре ее излучения **вследствие движения** не возникнет. Отличие моей теории от общепринятой теории состоит в том, что наряду с указанной причиной доплеровского сдвига частоты ядвигаю как дополнительную причину сдвига – сдвиг только в красную область спектра света от любой звезды по мере распространения этого света в пространстве. Этот сдвиг пропорционален длине пути, пройденному этим светом в пространстве. **Чем дальше звезда, тем больше этот сдвиг.** Мы видим звезды, которые удалены от нас на гигантские расстояния. Большая часть звезд, видимых с Земли, удалены так далеко, что красный сдвиг вследствие дисперсии существенно превышает любой сдвиг, в красную или в фиолетовую область, вследствие движения звезд. Поэтому те звезды, которые находятся за некоторой границей, приобретают такой сильный сдвиг в красную область, что даже при наличии сдвига в фиолетовую область вследствие их приближения к нам все равно итоговый сдвиг в сумме будет именно в красную область. Поэтому такие объекты будут нам видаться в спектре, который сдвинут в красную область. По этой величине сдвига астрономы решают, что и эти объекты также удаляются, хотя на самом деле они к нам приближаются. И при этом астрономы примут решение, что эти объекты намного ближе, чем на самом деле, поскольку синий сдвиг уменьшит их суммарный красный сдвиг. Поэтому эти объекты будут признаны более близкими, чем это имеет место на самом деле. Поэтому также и размеры этих объектов будут ошибочно сочтены меньшими, чем они есть на



самом деле. Если же объекты, напротив, удаляются, и вследствие этого в их свечении будет иметь место дополнительный доплеровский красный сдвиг, то он сложится со сдвигом вследствие дисперсии, и общий красный сдвиг будет чрезвычайно большим. В отношении этих объектов астрономы ошибочно сочтут их намного более далекими, чем они являются на самом деле. Естественно, что они сочтут их намного более большими, чем они есть на самом деле, поскольку их яркость будет соотнесена с ошибочно определенной слишком большой дальностью. При этом в отношении абсолютно всех астрономических объектов астрономы ошибочно определяют их скорость, поскольку наряду с истинным доплеровским сдвигом частот имеет место дисперсионный сдвиг, который принимается в расчет точно так же, как доплеровский. Например, если вы каждый раз при взвешивании объекта на какой-либо чаше принимаете результат взвешивания за истинный вес объекта, то вы каждый раз совершаете ошибку, равную весу этой чаши. Если вес чаши каждый раз разный, то и ошибка будет каждый раз разная, но она будет всегда. Точно так же происходит и с определением скорости астрономических объектов, и с определением дальности до них. Астрономы получают спектр свечения, находят характерные линии известных атомов, определяют частотный сдвиг свечения этих спектров, умножают эту величину на коэффициент Хаббла и получают якобы скорость удаления этого объекта, а также по этой скорости определяют расстояние до этого объекта. Несколько иначе поступают астрономы, когда выясняется, что сдвиг в свечении данного объекта имеет место в фиолетовую область. А именно: во-первых, они должны были бы предположить, что расстояние до этого объекта отрицательно (согласно закону Хаббла), но они этого не делают на основе «здравого смысла». Как видим, здравый смысл все же иногда необходим даже тем, кто стоит на позициях теории относительности. Во-вторых, осуществляется другой способ определения расстояния до объекта, например, по частоте мерцания определенных объектов и так далее. Следовательно, астрономы должны признать, что в законе Хаббла имеются таинственные исключения. То есть хотя вся Вселенная якобы расширяется, разлетается в разные стороны, но какие-то её объекты не поддаются этому правилу или закону, вопреки этому закону они движутся в сторону, противоположную той, в которую должны были бы двигаться. Теперь рассмотрим этот же пример с позиции предлагаемой мной теории. Если в спектре астрономического объекта обнаружен сдвиг частот в красную область, мы должны предположить, что в формировании этого сдвига участвовали два фактора: доплеровский сдвиг вследствие движения объекта и дисперсионный сдвиг. Если мы предварительно

предположим, что вся величина этого сдвига определяется только дисперсионным сдвигом, то мы сможем рассчитать дальность до этого объекта. Но после этого нам следует принять допущение о том, что объект может приближаться к нам или удаляться от нас. Если у нас есть способы уточнить дальность, то мы можем уточнить скорость объекта. Для этого достаточно рассчитать тот сдвиг, который должен был бы получиться вследствие дисперсионного сдвига на основании сведений о дальности, затем вычтем эту величину из фактического сдвига, остаток будет использован для определения направления и величины доплеровского сдвига. Может оказаться, что объект удаляется от нас, но также может оказаться, что объект приближается к нам. В случае, если мы получили сдвиг в фиолетовую область, то мы должны сделать однозначный вывод о том, что объект приближается. Мало того, мы должны однозначно предположить, что он приближается быстрее, чем это следовало бы при расчете из этой величины сдвига. Действительно, ведь дисперсионный сдвиг всегда дает смещение в красную область. Следовательно, результирующий сдвиг получен из вычитания из доплеровского сдвига, большего по величине, дисперсионного сдвига, меньшего по величине. Следовательно, все объекты, которые считаются приближающимися к нам, на самом деле приближаются к нам, причем они приближаются быстрее, чем это считается. Все объекты, считающиеся удаляющимися от нас, на самом деле либо удаляются, либо не удаляются. Если имеется объект, сдвиг свечения которого равен нулю, то он также на самом деле приближается к нам, поскольку дисперсионный сдвиг частоты должен быть чем-то уравновешен, а этим «чем-то» может быть только доплеровский сдвиг в фиолетовую область.

*5. You must know that Magellan Clouds are leaving us, the Milky Way. This means that they have a history of approaching us. Their current speeds potentially suggest to us that their birth place is about 17 million light-years away from the current Milky Way location. If some stars like the Magellan Clouds can approach us, what would make it impossible that some others would have left us from the same birth place and therefore now 34 million light-years away from us? By probability, what would make it impossible that some other stars on the opposite direction and on the other side of the Milky Way are also leaving us? Then, what would make it impossible that all these leaving us would send us light frequency that we see with red-shift?*

5. Вы, должно быть, знаете, что Магеллановы Облака покидают нас, покидают Млечный Путь. Это означает, что у них есть история приближения к нам. Их текущие скорости потенциально позволяют нам

предложить, что их место рождения отстоит на расстояние около 17 миллионов световых лет от текущего местоположения Млечного Пути. Если какие-то звезды, как Магелланова Облака могут приблизиться к нам, то, что могло бы сделать невозможным, что некоторые другие бы оставили нас с того же места рождения и, следовательно, в настоящее время находятся на расстоянии 34 млн. световых лет от нас? По теории вероятности, что могло бы сделать невозможным, чтобы некоторые другие двигались на противоположном направлении, а с другой стороны Млечного Пути также покидают нас? Тогда, что сделало бы невозможным, что все они, оставив нас послали бы нам частоту света, которую мы видим с красным смещением?

**Ответ 5.** Тут я не уловил сути вопроса, сути парадокса или какого-либо противоречия как такового. В чем, собственно, состоит факт или допущение, которое опровергало бы мою теорию? Для начала, если вы принимаете мою теорию, тогда вам не надо апеллировать к тем утверждениям, которые моя теория отвергает, а если вы апеллируете к этим утверждениям, тогда не следует считать, что ваши замечания имеют какое-либо отношение к моей теории. То есть для начала вам надо согласиться, что Магеллановы облака вовсе не обязательно удаляются от нас с такой гигантской скоростью, как это утверждает теория. Возможно, они удаляются, но медленнее, чем считается. Возможно, они не удаляются вовсе. Возможно, они приближаются. Только астрофизики, стоящие на позиции теории Хаббла считают, что Вселенная существует не вечно, а всего лишь 20 или 40 миллиардов лет, просто потому, что они рассчитали, что если вещество во Вселенной разлетается, то можно подсчитать тот момент времени, когда все звезды находились в одной точке. Они подсчитали эту точку и получили якобы возраст Вселенной. Я же не считаю, что звезды все в целом разлетаются от нас. Какие-то, наверняка, удаляются от нас, какие-то явным образом к нам приближаются, какие-то находятся примерно на одном и том же расстоянии. В этом отношении все объекты, и в том числе Магеллановы облака, на самом деле имеют не такие скорости, которые определены по закону Хаббла. Итак, если вы согласны со мной, что Магеллановы облака, возможно, вовсе и не удаляются от нас, тогда в чем вообще с ними проблема? Не понятно также и то, в чем была бы проблема, если бы мы сочли, что они все же удаляются от нас? Какая, собственно, разница, удаляются к нам какие-то объекты, или приближаются к нам, или ни то, ни другое? Все это имеет место и может иметь место без того, чтобы опровергать мою теорию, мои взгляды. Ведь моя теория не касается конкретно какого-то объекта, она касается всех объектов в их совокупности. И состоит она вовсе не в том, что я отрицаю саму возможность движения каких-либо объектов.

И она не в том состоит, что я отрицаю доплеровский сдвиг от движения каких-либо объектов. Напротив, я утверждаю, что любое движение этих объектов непременно дает доплеровский сдвиг, и напротив я утверждаю, что все астрономические объекты так или иначе движутся. Я лишь отрицаю, что имеет место глобальная зависимость между расстоянием между двумя произвольными астрономическими объектами и скоростью их удаления друг от друга. Это утверждение принадлежит Хабблу. Я это утверждение отрицаю. Ошибочная теория о разбегании Вселенной приводит к ошибке, что все объекты были когда-то очень близко друг к другу, практически в одной точке. Вот именно это я и отрицаю. Надо для начала понять, что подавляющее большинство звезд во Вселенной никогда не были ни рядом друг с другом, ни рядом с Солнцем и никогда не будут ни рядом друг с другом, ни рядом с Солнцем. Все звезды далеки друг от друга. Вероятно, имеют место столкновения, но они крайне редки. Тех звезд, которые **крайне далеки** от Солнечной системы, подавляющее большинство среди тех, которые хоть как-то нам видны. Под термином «крайне далеки» в данном случае я имею в виду «далеки настолько, что дисперсионный сдвиг многократно превышает доплеровский сдвиг частот в их свечении». Приближение к нам каких-либо звездных объектов также не пугает меня и не должно пугать человечество. Нам едва ли удастся найти хотя бы одну звезду, которая когда-то была достаточно близка к Солнцу, и едва ли удастся найти звезду, которая когда-нибудь приблизится к Солнцу настолько близко, что это могло бы как-то сказаться на дальнейшем существовании Солнечной системы и на существовании Земли. Столкновение звезд, по-видимому, крайне редкое явление во Вселенной. Это по причине того, что звезды чрезвычайно удалены друг от друга, вещество во Вселенной в целом очень разрежено расположено. Если бы даже Магелланово облако приблизилось к Солнцу, то вероятнее всего, это не было бы никакой проблемой для дальнейшего существования Солнечной системы. Дело в том, что это Магелланово облако – это скопление метagalactic. Вероятность того, что при этом Солнце столкнулось бы с одной из таких планет гораздо меньше, чем вероятность, например, того, что щепотка песка, распределенная на площади размером с пустыню Сахара, двигаясь к Земле представляла бы угрозу какому-то конкретному муравью, о котором мы бы заранее беспокоились. Но в данном вопросе я увидел и другой вопрос, который я бы переформулировал более конкретно, а именно: «Что по теории вероятности могло бы сделать невозможным ту или иную скорость тех или иных объектов в том или ином направлении по отношению к нам?». Ответ на этот вопрос таков: согласно теории вероятности, все направления движений

астрономических объектов равновероятны. Направление строго к нам, как и направление строго от нас имеет вероятность, равную нулю. Ненулевая вероятность будет лишь в некотором телесном угле. Для любого произвольного объекта априорно вероятность, что его движение направлено «в целом к нам» в границах полусферы равна 0,5. В четверти сферы вероятность 0,25, и так далее. О скорости можно сказать следующее: видимо, имеет место некоторое гауссово распределение скоростей по отношению к системе, привязанной к Солнечной системе. Строго нулевая скорость, видимо, маловероятна. Но и крайне высокая скорость также маловероятна. Необходимы физические причины, чтобы объект приобрел такую скорость. В указанном примере, как я полагаю, за 10 миллиардов лет объект должен был пролететь расстояние, равное 17 миллионов световых лет. Если бы это было правдой, и если бы объект двигался равномерно прямолинейно, то получается, что его скорость равна 0,0017 С, то есть 0,17 % скорости света. Это дает примерно 500 км/с. Мое воображение отказывается признать это возможным. Если же согласиться со мной, что указанный сдвиг частоты порожден большой дальностью до объекта и дисперсией света, то может оказаться, что относительно Солнца указанный объект движется не слишком уж и быстро.

6. *To me, Hubble's law is real, but not resulted in the way as simple as what people like Steven Hawking proposed—because of the nature caused by a one-time explosion according to them. The higher velocity for the stars at more remote distance is a result of momentum accumulation, which is also the reason of rotation of galaxies.*

6. На мой взгляд, закон Хаббла является реальным, а не выведен в результате такого простого пути, как предложил Стивен Хокинг – вследствие природы, порожденной единовременным взрывом в соответствии с ними. Более высокая скорость для звезд на более отдаленной дистанции является результатом накопления импульса, который также является причиной вращения галактик.

**Ответ 6.** С этим никак нельзя согласиться. Накопление импульса (или скорости, или энергии) может иметь место только вследствие воздействия силы. Это элементарная физика, которая многократно проверена экспериментами. Вращение объектов по орбитам не вызывает и не порождает никакого накопления импульса. Земля вращается вокруг Солнца. И она при этом не накопила никакого импульса – изначальный импульс сохраняется, только и всего. Если бы Земля приближалась, то она бы накопила импульс вследствие силы притяжения. Но она бы в конце концов упала на Солнце. Это согласуется с физикой. Если бы Земля удалялась, она бы замедлялась вследствие того, что сила действует в противоположном направлении по отношению к вектору скорости. То

есть любой звездный объект, удаляющийся от центра масс, должен не накапливать импульс, а терять импульс (если угодно использовать такую терминологию, но лучше говорить о потере скорости вследствие действия силы, направленной против направления скорости). Поэтому если бы звезды во Вселенной разлетались, и если бы Вселенная имела ограниченное количество вещества, сосредоточенное в некоторой сфере, то все звезды в среднем притягивались бы к центру масс, и они бы тормозились. Еще раз внимательно посмотрите на *Рис. 4*. Самые дальние звезды бы тормозились намного сильнее, чем те, которые находятся ближе к центру масс. Поэтому если бы звезды разлетались вследствие колоссального взрыва, то самые дальние звезды летели бы наименее быстро, а самые ближние к центру звезды летели бы наиболее быстро. На самом деле наблюдательная часть астрофизики утверждает противоположное, что дальние звезды летят быстрее, а ближние медленнее. Никаких физических причин для этого быть не может.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Картина мироздания перестаёт быть непостижимой, парадоксальной, нефизичной. Напротив, она становится стройной, её существования объясняется теми законами физики (и природы), которые знакомы нам со школьной скамьи, без таких поправок, которые устраняли бы причинно-следственную связь, ставили бы под сомнение материализм, объективность, познаваемость мира.

Теория первовзрыва парадоксальна по многим причинам. Её принятие неизбежно приводит к принятию конечности времени и пространства. Само предположение о том, что время может быть конечным, то есть когда-то начаться в принципе и когда-то закончиться в принципе, сто с небольшим лет назад позволило бы со всей определенностью поставить диагноз психического отклонения пациенту, который проявляет подобные убеждения. Аналогично обстоит дело и с предположением о том, что пространство где-то заканчивается. Равным образом безумно предположение о том, что пространство может быть свернуто или искривлено. Путешествие во времени невозможно, спорить с этим, казалось бы, бессмысленно. Но, как это ни странно, все больше людей считают его возможным. Для того, чтобы попытаться сохранить хотя бы в такой теории хотя бы какую-то видимость остатка причинно-следственной связи, приходится авторам таких идей изобретать недопустимые парадоксы, которые могут с успехом повышать зрелищность фильмов, но не должны использоваться в научной литературе, наподобие таких, как «встреча путешественника во времени с самим собой может привести к парадоксу, который вызовет коллапс прост-

ранственно-временного континуума» (фильм «Назад в будущее», цитируется по переводу не дословно). Пора решительно отказаться от таких теорий в науке, хотя, разумеется, нет никаких причин отказываться от подобных построений в фантастической литературе и кинематографии просто так для развлечения.

Следует отличать полезность выдумки для удовольствия от вредности выдумки, которая приобретает ранг научного мировоззрения только лишь на том основании, что эта выдумка хорошо укладывается в какие-то математические соотношения и процитирована достаточно большое количество раз в других публикациях. Индекс цитируемости в этом смысле никак не может быть доказательством научности. Только логика и правильное применение физических законов, которые в свою очередь правильно выведены из безупречно поставленных экспериментов, может вернуть науку в научное русло и вернуть ей достойное место.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.А. Жмудь. Информационный подход к задачам метрологии и физики. Автоматика и программная инженерия 2015. № 3 (13). С. 80–109.
- [2] В.А. Жмудь. Новый взгляд на опыт Майкельсона. Сборник научных трудов НГТУ. 2004. №4 (38). С. 157–164. ISSN 2307-6879.
- [3] Zhmud V.A., Bugrov S.V. The modeling of the electron movements inside the atom on the base of the non-quantum physics. С.В. Бугров, В. А. Жмудь. Proceedings of the 18th IASTED International Conference “Applied Simulation and Modeling” (ASM 2009). Sept. 7-9, 2009. Palma de Mallorca, Spain. P.17–23.



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

## The Dispersion Treatment of the Hubble Effect

VADIM ZHMUD

*Abstract.* Hubble effect is in the shift of the spectrum of the light from stars toward the red

field. It is noted that the farther from the earth are astronomical sources of radiation, the greater the shift is. This undeniable fact is the basis of the assumption, deniable one, that the farther away the star are, the more quickly it move away from us. If such removal would occur, of course, it would lead to such an effect. However, not only such movement can cause such effect. Therefore, the alternative hypothesis is competent, that the global expansion of the Universe is not taking place, but there is only the dispersion attenuation of light energy as it propagates through space. This brings science to the hypothesis of infinite size of the universe. It is relatively stationary in the sense that none of its sufficiently large areas is moving in average in any given direction. It does not deny the movement of any of the objects in any direction and with at any speed. The author has published a series of articles explaining these views. These articles provoked many responses, and these responses continue to arrive through different channels, either through websites and e-mail. Incoming questions indicate that even those readers, who generally agree with some theses of these publications, as it turns out, could not understand the unity and harmony of the proposed physical picture, describing the structure of the universe. Therefore, this paper answers to their questions and gives a holistic presentation of the resulting picture.

*Key words:* universe, astrophysics, galaxy, ether, relativity, Hubble effect, the speed of light.

## REFERENCES

- [1] V.A. Zhmud. Information approach to the problems of metrology and physics. Automation and Software Engineering 2015. № 3 (13). p. 80-109.
- [2] V.A. Zhmud. Novyj vzgljad na opyt Majkel'sona. Sbornik nauchnyh trudov NGTU. 2004. №4 (38). S. 157–164. ISSN 2307-6879.
- [3] Zhmud V.A., Bugrov S.V. The modeling of the electron movements inside the atom on the base of the non-quantum physics. С.В. Бугров, В. А. Жмудь. Proceedings of the 18th IASTED International Conference “Applied Simulation and Modeling” (ASM 2009). Sept. 7-9, 2009. Palma de Mallorca, Spain. P.17–23.

# Требования к публикациям в научном электронном журнале «Автоматика и программная инженерия»

## ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА

Автоматика, робототехника, автоматизированные системы, программные системы и средства (программная инженерия), защита информации, сетевые технологии, программные платформы, мультиагентные системы, облачные технологии, инновации, информационные технологии, моделирование систем, свободное и открытое программное обеспечение.

## ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ ЖУРНАЛА

Научные, педагогические и инженерные кадры, аспиранты, докторанты и студенты, представители бизнеса в области информационных технологий и автоматике.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

К опубликованию принимаются оригинальные научные статьи, ранее не опубликованные ни в каких средствах информации, включая научные и иные журналы и электронные сайты.

Не допускается дословное цитирование без кавычек из чужих источников (плагиат) и из своих источников (автоплагиат), допускается опубликование ранее опубликованных иллюстраций и уравнений, если это требуется для понимания текста. Иллюстрации из чужих источников не желательны кроме случаев, когда без их дублирования статью невозможно понять; в этом случае они должны быть снабжены ссылками на эти источники.

Статья должна содержать новые научные результаты и соответствовать тематике журнала. Иллюстрации – черно-белые или цветные (цветные – предпочтительно).

Формат страницы: А4, текст в две колонки, шрифт *Times New Roman*, размер 10 пт через один интервал, заголовок – в одну колонку шрифт 24 пт, литература – 8 пт. Если рисунок, формула или таблица требуют использования полного пространства двух колонок, разрешается это делать в разрыве текста из двух колонок с последующим восстановлением двух колонок. Не следует нарушать внешние границы текста.

Информация об авторах дается в конце статьи, желательна фотография, электронная почта. Перечень авторов дается на первой странице (только фамилии, И.О. и место работы).

Статья обязательно должна содержать аннотацию (100 – 200 слов) и ключевые слова (8 – 10 слов или словосочетаний), литературные ссылки, необходимые для понимания статьи и/или с указанием источников цитирования. При этом ссылки на собственные публикации не должны преобладать, желательно, чтобы их количество не превышало 30% общего числа ссылок.

Мы просим авторов не использовать автоматическую нумерацию рисунков, таблиц, разделов. Автоматическая нумерация списка литературных источников допускается. Также мы просим не использовать двойную и более сложную нумерацию таблиц и рисунков, а также следить за соответствием этой нумерации ссылкам на нее в тексте. Не желательно использовать рисунки или таблицы без ссылки на них в тексте. Если рисунок или таблица единственные, они не нумеруются.

## РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Присланные статьи подвергаются внутреннему анонимному рецензированию. Редакционная коллегия вправе отклонить статью от опубликования с указанием причин этого отклонения или предложить доработать статью по замечаниям рецензента.

Статьи, написанные в соавторстве действительных членов РАН или РАЕН, а также статьи, сопровождающиеся положительной рецензией действительных членов РАН или РАЕН (твердая копия с оригинальной подписью, заверенной по месту работы, пересылается по почте), могут быть опубликованы по ускоренной процедуре рецензирования. При этом не исключается предложение редакции о редакторской правке и/или о лучшем качестве иллюстративного материала.

Если по мнению редакционной коллегии к тексту статьи требуются примечания, редакционная коллегия вправе включать таковые, извещая предварительно об этом авторов. Авторы могут по своему усмотрению внести исправления в текст (устраняющие необходимость примечания), либо согласиться с примечанием, либо настаивать на опубликовании статьи без примечаний. В последнем случае редакционная коллегия вправе поместить статью в разделе

«Дискуссии».

### ОТВЕТСТВЕННОСТЬ АВТОРОВ

Ответственность за научное содержание статей и за качество перевода на английский язык лежит на авторе (авторах) публикации. Факт направления статьи в редакционную коллегию трактуется редакционной коллегией как заключение устного договора на передачу прав опубликования данного материала редакционной коллегии, в случае, если статья не будет отклонена. При этом редакционная коллегия обязуется обеспечить научное рецензирование, редактирование и опубликование с открытым доступом, а авторский коллектив обязуется обеспечить отсутствие плагиата, включая автоплагиат, и выполнение других требований, опубликованных в этом разделе.

Российские авторы должны присылать перед окончательным опубликованием статьи скан-файл **экспертного заключения** о возможности **открытого опубликования** статьи в ее окончательном виде. Бумажный вариант досылается позже. Если бумажный вариант не получен, ответственность за его наличие и за совпадение электронного варианта с бумажным вариантом лежит на авторском коллективе.

Все вопросы по опубликованию можно уточнить по электронной почте.

### ЯЗЫК ПУБЛИКАЦИИ

Научный журнал Автоматика и программная инженерия (АиПИ) издается на двух языках: русском и английском. Английская версия журнала выходит позже. Авторам предлагается присылать на адрес главного редактора [oaonips@bk.ru](mailto:oaonips@bk.ru) свои статьи для публикации в формате *Word-2003* на двух языках. Допускается присылать статьи для первого рецензирования на одном языке (русском или английском) с последующим обязательным предоставлением окончательной версии статьи на двух языках. Подписи на иллюстрациях также должны делаться на двух языках, или только на английском (в этом случае в русскоязычном варианте статьи в подрисовочных подписях следует давать перевод этих подписей).

В случае предоставления авторами статьи только на одном языке, **опубликование на другом языке не гарантируется**. В этом случае по усмотрению редакции может быть опубликовано только краткие сведения (аннотация, ключевые слова, тезисы) или статья в сокращенном виде.

Сопровождение русскоязычной статьи английским переводом названия, ключевых слов и аннотации, и транслитерации фамилий авторов редакцией приветствуется: в этом случае указанные сведения помещаются в конце

статьи.

Желательно указание индекса УДК и (или) МКИ.

Допускается прием к опубликованию статей только на английском языке для англоязычных авторов. В этом случае по усмотрению редакции либо англоязычная версия публикуется в русскоязычной и англоязычной версии журнала, либо редакция осуществляет самостоятельный перевод статьи на русский язык для русскоязычной версии.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Редакционная коллегия предлагает соблюдать сложившиеся стилистические и оформительские признаки стиля АиПИ в части заголовков, подрисовочных подписей, оформления библиографических ссылок и т. д.

Пожалуйста, используйте курсив для латиницы в русскоязычных статьях, для сокращенных наименований физических величин после их численного значения, а также для полных или сокращенных слов «таблица», «рисунок», «приложение», «теорема», «лемма», «пример» и так далее, если после этих слов применена нумерация. При этом полное или сокращенное слово «*Рисунок*», «*Таблица*» и т. д. пишется с заглавной буквы. Между точкой после сокращения и цифрой, означающей нумерацию рисунка или таблицы, пожалуйста, используйте символ «неразрывный пробел», который вставляется в текст при одновременном нажатии клавиш *Shift, Ctrl* и «пробел». Например, «на *Рис. 2* показано».

Для чисел использовать курсив не следует, кроме случаев, когда числами обозначаются блоки или элементы на рисунке.

Например:  $F_2 = 33,5 \text{ Н}$ .

Не следует использовать наименования физических величин в сокращенном виде в разрыве (вследствие переноса на другую строку) от их численного значения. Чтобы этого избежать, применяйте символ «неразрывный пробел». Также не применяйте эти сокращенные наименования, а также знаки математических операций при отсутствии численного значения.

Например, некорректным по этому признаку является фраза: «Сила тока =  $3 \text{ А}$ », или «Сила тока составляет несколько  $\text{А}$ ». Следует применять корректную запись, например, «Сила тока  $I = 3 \text{ А}$ » или «Сила тока составляет несколько *Ампер*».

При написании формул используйте соответствующее программное обеспечение *Math (Microsoft Equation)*, встраиваемое в *Word*. Знаки препинания после уравнений, пожалуйста, пишите не в составе формул, а после формул как элементы текста.

В формулах использование курсива и прямого шрифта также имеет больше смысловое значение, а именно: для цифр и русских букв,

скобок, других служебных символов курсив не применяется. Курсив следует использовать для латинских букв, за исключением тех случаев, когда латинские буквы применяются для обозначения стандартных функций:  $\exp$ ,  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\log$ ,  $\lg$ ,  $\ln$ ,  $\mod$ ,  $\max$ ,  $\min$  и так далее – пишутся без курсива.

Мы просим авторов не использовать без необходимости *Math (Microsoft Equation)* для написания простейших формул в тексте абзаца, например, указание на значение какой-то из величин, или приведение простого соотношения, которое укладывается в половину строки и на которое не делается ссылок в дальнейшем.

Статьи, оформленные с существенными нарушениями требований к оформлению, могут быть отклонены от опубликования на этом основании.

#### О РАЗДЕЛЕ «ДИСКУССИИ. ФОРУМ»

В раздел «Дискуссии. Форум» принимаются статьи, которые могут положить начало дискуссиям по актуальным вопросам в русле тематики журнала «АиПИ».

Статьи данного раздела не подвергаются строгому научному рецензированию, а именно: при наличии как положительных, так и отрицательных рецензий, либо при несовпадении точки зрения авторов с точкой зрения большинства членов редакционной коллегии, статьи могут быть опубликованы в этом разделе на правах дискуссионного выступления автора. Редакционная коллегия приветствует научные дискуссии сторонников несовпадающих мнений с целью развития теорий. Редакционная коллегия призывает читателей присылать

отклики на статьи, опубликованные в разделе «Дискуссии». Избранные отклики на статьи раздела «Дискуссии» также как избранные мотивированные отклики на другие статьи журнала «АиПИ» будут публиковаться в разделе «Форум» (по усмотрению редакции – в сокращении или в конспективном изложении).

#### ОФОРМЛЕНИЕ ЛИТЕРАТУРЫ

Мы просим наших авторов при оформлении списка цитируемых публикаций давать два варианта: для русскоязычных читателей (Литература) и для англоязычных читателей (*References*). Во втором случае публикации на иностранных языках записываются так же, как они пишутся в оригинале. Публикации на русском языке следует перевести на английский язык, либо осуществить транслитерацию с помощью сайта <http://translit.net/>. Если вы ссылаетесь на публикацию нашего журнала, пожалуйста, используйте англоязычное название в списке для англоязычных читателей, а именно: *Automatics & Software Enginery*. Аналогично если журнал выходит на двух языках, русском и английском, мы убедительно просим авторов в русскоязычной версии ссылок давать ссылку на русский вариант издания, а в англоязычной версии – ссылку на английский вариант издания. Если при этом страницы соответствующих статей не совпадают, пожалуйста, используйте правильные страницы публикаций. Если вы знакомы со статьей только по англоязычному варианту, либо если статья написана только на английском или другом иностранном языке, в этом случае ссылка на нее в каждом из переченей дается на языке оригинала.

# Content

<b>I. Automation. Automated Systems</b>	<b>7</b>
Development of the Intelligent Control for the System “DPT-Generator” K.Y. Lastochkin, I.O. Prikhodko	9
Automation in Small Batch and Unit Production L. Dimitrov, V. Zhmud	14
<b>II. Robotics. Electroniks. Software and Systems</b>	<b>22</b>
Modeling of the Distributed Fibre-Optical Sensor in Labview for Increasing of the Spatial and Temperature Resolution E.Yu. Kuznetsova, Z.N. Alekseenko	24
Graphic OLED Display UG-2864ASYGG14: First Start V.A. Zhmud, A.S. Kamenskaya, K.V. Kurbetyev, V.G. Trubin	29
Design of swing and stabilization algorithms of the inverse pendulum fixed on a motor shaft Nurbek Emirbekov, Mirbek Emirbekov	38
<b>III. Innovative Technologies. Promising Technologies. Simulation of Systems. Numerical optimization</b>	<b>44</b>
Structure and Methods of Control of Oscillating Objects Vadim Zhmud, Vladimir Semibalamut, Lubomir Dimitrov	46
Calculation of the Desired Coefficients of the Characteristic Equation of the Locked Control System V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov	58
<b>IV. Measuring Means and Systems. Identification. Telemechanics and Telemetry</b>	<b>67</b>
Wavelet filtering with two parametric threshold functions: selection of the function and justification of optimal parameters Y.E. Voskoboynikov	69
Prospects for the Development of Systems for Monitoring Seismodynamics Rock V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut, L.V. Dimitrov	79
Presentation of Fresnel Transform in the Discrete Form V.I. Guzhov, R.B. Negin, V.A. Emelyanov	91
The Area of Possible Application of Discrete Fourier transform and Fresnel transform V.I. Guzhov, V.A. Emelyanov, D.S. Hajdukov	97
<b>V. Popular Papers. Intriduction into Spesialities</b>	<b>104</b>
About Patentability of Innovative Ideas for Products of Mass Production Vadim Zhmud	106
<b>VI. Discussions. Forum. Information for Authors</b>	<b>112</b>



On the new Representations of Physical Essence of the Quantum Planck Constant, Light, Radiation, and the Structure of Elementary Particles К.К. Карпов	114
The Dispersion Treatment of the Hubble Effect Vadim Zhmud	131
Requirements for Publication in Scientific Electronic Journal "Automation and Software Engineering"	149

ISSN 2312-4997

