

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

# АВТОМАТИКА и ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

2022 N 2(40)

Automatics & Software Engineering. 2022. N2(40)

## Оглавление

<b>Общие сведения о журнале АиПИ.....</b>	<b>3</b>
<b>Common Information about the Journal A&amp;SE .....</b>	<b>7</b>
<b>Виртуальная наука.....</b>	<b>11</b>
<i>В.А. Жмудь .....</i>	<i>11</i>
<b>О возможных причинах некорректного моделирования замкнутых динамических систем.....</b>	<b>39</b>
<i>В.А. Жмудь<sup>1,2,3</sup>, А.В. Ляпидевский<sup>1</sup> .....</i>	<i>39</i>
<b>Тестирование регуляторов по методу локализации на их эффективность.....</b>	<b>56</b>
<i>В.А. Жмудь<sup>1,2,3</sup>, А.В. Ляпидевский<sup>1</sup> .....</i>	<i>56</i>
<b>Управление нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями .....</b>	<b>71</b>
<i>А. Асет<sup>1</sup>, М.Е. Мансурова<sup>2</sup>, В.А. Жмудь<sup>3,4,5</sup> .....</i>	<i>71</i>
<b>Исследование запаса устойчивости системы управления нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями при изменении параметров его модели .....</b>	<b>88</b>
<i>А. Асет .....</i>	<i>88</i>
<b>Теория единого поля .....</b>	<b>97</b>
<i>Б.Х. Рустемов .....</i>	<i>97</i>
<b>Дифференцирование и интегрирование функций в комплексной степени .....</b>	<b>114</b>
<i>В.А. Жмудь .....</i>	<i>114</i>
<b>Синтез ПИД-регулятора для управления нелинейным объектом с положительной нелинейной обратной связью .....</b>	<b>126</b>
<i>В.А. Жмудь<sup>1,2,3</sup>, В.М. Семибаламут<sup>3</sup> .....</i>	<i>126</i>
<b>Московский семинар по электронным и сетевым технологиям MWENT-2022.....</b>	<b>138</b>
<b>XVI Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи.....</b>	<b>143</b>
<b>Пресс-релиз Ассоциации поддержки научных исследований.....</b>	<b>145</b>
<b>Content .....</b>	<b>147</b>

## Общие сведения о журнале АиПИ

**Главный редактор д.т.н., доцент В.А. Жмудь**, зам. директора АО «Новосибирский институт программных систем» (НИПС), **Новосибирск, Россия**

### Редакционный совет:

- |   |  |
|---|--|
| <b>Вадим Аркадьевич Жмудь</b>           | Главный редактор, Председатель редакционного совета, зам. директора АО «Новосибирский институт программных систем» (НИПС), 360090, просп. Ак. Лаврентьева, д. 6/1, НИПС, <b>Новосибирск, Россия</b>  |
| <b>Александр Валерьевич Ляпидевский</b> | Генеральный директор организации-учредителя – АО «Новосибирский институт программных систем» (АО «НИПС»), к.э.н., <b>Новосибирск, Россия</b>   |
| <b>Уранчимэг Тудэвдагвын</b>            | Профессор Института Энергетики, Доктор Технические наук, Член докторского диссертационного совета по информатике и связи Монголии, МГУНиТ Член высшего научного совета МГУНиТ, Член научного совета Института Энергетики, Заслуженный доктор НГТУ, <b>Германия, Монголия</b> |
| <b>Любомир Ванков Димитров</b>          | Проректор по международным связям Технического университета Софии, доктор, профессор, Заслуженный доктор НГТУ, София (Sofia), <b>София, Болгария</b>   |
| <b>Алексей Владимирович Тайченачев</b>  | Директор ФГБУН Институт лазерной физики СО РАН, д.ф.м.н., член-корреспондент РАН, член президиума ВАК РФ, <b>Новосибирск, Россия</b>   |
| <b>Эрик Хальбах</b>                     | Д.т.н., Технологический университет Тампере, Лаборатория автоматике и гидравлики, П.О. А/я 589, 33101 <b>Тампере, Финляндия</b>  |
| <b>Олег Владимирович Стукач</b>         | Д.т.н., профессор Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» и Новосибирского государственного технического университета, член IEEE, <b>Москва – Новосибирск – Томск, Россия</b>   |

### Редакционная коллегия:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Анатолий Сергеевич Востриков</b> | Профессор кафедры Автоматики НГТУ, д.т.н., лауреат Премии Президента Российской Федерации в области образования, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный профессор НГТУ, почетный профессор Шанхайского университета, почетный профессор Алтайского государственного технического университета, награжден орденом Почета, <b>Москва, Россия</b> |
| <b>Владимир Иванович Гужов</b>      | Профессор кафедры Систем сбора и обработки данных, Новосибирский государственный технический университет, <b>Новосибирск, Россия</b>  |

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

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



- Вячеслав Николаевич Федоров** К.т.н., доцент кафедры радиотехники и информационных технологий Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, **Якутск, Россия**
- Ульяна Анатольевна Михалёва** К.т.н., заведующий кафедрой «Многоканальные телекоммуникационные системы» Технологического института ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, **Якутск, Россия**
- Анастасия Дмитриевна Стоцкая** К.т.н., доцент, зам. зав. кафедрой Систем автоматического управления, Санкт-Петербургский Электротехнический университет (ЭТУ ЛЭТИ), **Санкт-Петербург, Россия**
- Анастасия Георгиевна Русина** Д.т.н., профессор кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета, доцент, **Новосибирск, Россия**
- Ольга Николаевна Долинина** Д.т.н., профессор, Директор института прикладных информационных технологий (ИнПИТ) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., доцент, **Саратов, Россия**
- Михаил Витальевич Калинин** Контент-менеджер АО «НИПС», **Новосибирск, Россия**

УДК 681.2; 681.3; 681.5; 681.7

Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия»

Название журнала на английском языке: Automatics & Software Engineering (A&SE).

ISSN 2312-4997 для бумажной версии на русском языке

ISSN 2618-7558 для электронной версии на русском языке

ISSN 2619-0028 для английской электронной версии

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55079

Дата основания: июнь 2012 г.

**Учредитель журнала:**

Акционерное общество «Новосибирский институт программных систем»

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

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

**Адрес редакции:**

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

АО «НИПС», заместителю директора по науке

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

web: <http://www.jurnal.nips.ru/>, E-library: [https://elibrary.ru/title\\_profile.asp?id=51757](https://elibrary.ru/title_profile.asp?id=51757)

Подписано в печать 22 июля 2022 г.

## Common Information about the Journal A&SE

**Chief Editor – Professor Vadim A. Zhmud**, Vice-Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS). **Novosibirsk, Russia** E-mail: [oaonips@bk.ru](mailto:oaonips@bk.ru)

### Editorial Council:

- Vadim A. Zhmud** Chief Editor, Vice-Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS). **Novosibirsk, Russia**
- Alexander V. Liapidevskiy** Director of Novosibirsk Institute of Program Systems (NIPS), Ph.D., **Novosibirsk, Russia**
- Uranchimeg Tudevtagva** Professor of Mongolian State University of Science and Technology Honorable Doctor of NSTU. Ulaan Baator, **Mongolia**
- Lubomir V. Dimitrov** Vice-Rector of Technical University of Sofia, Doctor, Honorable Doctor of NSTU, Professor, Sofia, **Bulgaria**
- Aleksey V. Taichenachev** Director of Institute of Laser Physics SB RAS, Doctor of Phys. and Mathemat. Sci., Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Higher Attestation Commission, **Novosibirsk, Russia**
- Eric Halbach** D.Sc. (Tech.), Tampere University of Technology, Laboratory of Automation and Hydraulics, P.O. Box 589, 33101 **Tampere, Finland**
- Oleg V. Stukach** Dr. of Sci., Professor of National Research University "Higher school of Economics" and Novosibirsk State Technical University, **Tomsk – Novosibirsk – Moscow, Russia**

### Editing Board:

- Anatoly S. Vostrikov** Professor, Department of Automation in NSTU, Doctor of Technical Science, Distinguished Lecturer of Russia, Academician of Academician of the International Academy of Higher Education, Novosibirsk and Moscow, **Russia**
- Vladimir I. Guzhov** Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Data Acquisition Systems in Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, **Russia**
- Siba S. Mahapatra** Professor in the Department of Mechanical Engineering, NIT Rourkela, **India**
- Hubert Roth** Head of the Department of Automatic Control Engineering of University of Siegen, Professor, **Germany**
- You Bo** Director of Institute of Robotics and Automation Technology, Dean of School of Automation, Professor, Harbin University of Science and Technology, **China**
- Jaroslav Nosek** Professor in Technical University of Liberec, Deputy Dean of the Faculty of Mechatronics, Computer Science and Interdisciplinary Research, Honorable Doctor of NSTU. Liberec, **Czech Republic**

- Petr Tůma** Professor at the Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Education Technical University of Liberec, Doctor, **Czech Republic**
- Thierry Chateau** Full Professor, Université Blaise Pascal, Head of ISPR/ComSee Team, Clermont Ferrand, **France**.
- Wolfram Hardt** Vice-Dean on International Affairs, Director of University Computer Center, Professor on Technical Informatics, Technical University of Chemnitz, **Germany**
- Vimal J. Savsani** Associate Professor at B. H. Gardi college of engineering and technology, Surat, **India**
- Ravipudi Venkata Rao** B. Tech., M. Tech., Ph.D., D.Sc. (**Poland**). Professor, Department of Mechanical Engineering, Former Dean (Academics) and Head (Mech. Engg. Dept.) Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology (SV NIT) {An Institute of National Importance of Government of India} Ichchanath, Surat-395 007, Gujarat State, **India**.
- Nematzhon R. Rakhimov** Head of the Laboratory of Optoelectronic Sibirian State Geophysics Academy, Professor, Doctor of Technical Science, **Russia and Uzbekistan**
- Gennady P. Tsapko** Professor of the Department of Automation and Computer Systems of the National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Director of Research and Education Center of CALS-technologies, Professor, Doctor of Technical Sciences, Academician of the International Academy of Informatization, Tomsk, **Russia**
- Alexander M. Malishenko** Professor of the Department of Automation and Computer Systems of TPU, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Institute of Higher School of Economics and the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, Tomsk, **Russia**
- Vadim Ya. Kopp** Head of the Department of Automated Instrument Systems in Sevastopol National Technical University, Honored Worker of Science and Technology, Professor, Sevastopol, **Russia and Ukraine**
- Eugeny V. Rabinovich** Professor, Department of Computer Science, NSTU, Doctor of Technical Science, Professor, Novosibirsk, **Russia**
- Michail G. Grif** Head of the Department of Automated Control Systems, NSTU, Doctor of Technical Science Professor, Novosibirsk, **Russia**
- Sergey L. Minkov** Head of the department of information support innovation National Research University “Tomsk State University”, PhD, Physical and Mathematical Sciences, major researcher, Corresponding Member of International Academy of Informatization, Tomsk, **Russia**



- Boris V. Poller** Head of the Laboratory of the Institute of Laser Physics SB RAS (ILP SB RAS), Doctor of Technical Science, Novosibirsk, **Russia**
- Tatiana V. Avdeenko** Head of the Department of Economic Informatics NSTU, Professor, Doctor of Technical Science, Novosibirsk, **Russia**
- Bayardin Bat-Erdene** Deputy Director of Research and Innovation Energy Institute in Mongolian State University of Science and Technology, Ph.D. ass. Professor. Ulaan Baator, **Mongolia**
- Anatoly M. Korikov** Head of the Department of Control Systems in Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR). Professor, Doctor of Technical Science, Academician of International Academy of Sciences of Higher Education, expert in system analysis and automatics. Tomsk, **Russia**
- Vitaly S. Shcherbakov** Dean of the Faculty, “Oil and gas and construction equipment”, Head of Department “Automation of Production Processes and Electrical Engineering”, Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI), Omsk, **Russia**
- Aleksey A. Ruppel** PhD, Technical Science, Associate Professor, Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI), Omsk, **Russia**
- Senge S. Yampilov** Professor of Department “Biomedical Engineering: Processes and Equipment for Food Production”, Doctor of Technical Sciences, Ulan-Ude, **Russia**
- Vladimir I. Gololobov** Head of Laboratory in NIPS, PhD, Novosibirsk, **Russia**
- Konstantin V. Zmeu** Associate Professor, PhD., Head of the Department of Technology of Industrial Production, the Engineering School of the Far Eastern Federal University, Vladivostok, **Russia**
- Aleksey D. Pripadchev** Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Flying Apparatus of Orenburg State University, Aero-Space Institute, Orenburg, **Russia**
- Victor P. Melchinov** PhD., Assistant Professor, Head of the Department of Radiotechniques and Information Technologies of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**
- Vyacheslav N. Fyodorov** PhD., Assistant Professor, Department of Radiotechniques and Information Technologies of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**
- Ulyana A. Mikhalyova** PhD., Assistant Professor, Head of the Department “Multi-Channel Telecommunication Systems” of Technology Institute of North-West Federal University honored to M.K. Ammosov, Yakutsk, **Russia**

**Anastasiya D. Stotskaya** PhD., Assistant Professor, Deputy Head of Automatic control system department, Saint-Petersburg Electrotechnical University (ETU LETI), Saint-Petersburg, **Russia**

**Anastasiya G. Rusina** Professor of the Department of Automated Electrical and Power Systems of NSRU, Doctor of Technical Sciences, Novosibirsk, **Russia**

**Olga N. Dolinina** Dr. of Techn. Sciences, Professor, vice-rector in development & digital transformation, professor of the chair "Information systems & Technologies" Ulyanovsk State Technical University, **Ulyanovsk, Russia.**

**Michail V. Kalinin** Content manager, NIPS, Novosibirsk, **Russia**

UDC 681.2; 681.3; 681.5; 681.7

Scientific and technical journal "Avtomatika i programnaya inzheneriya"

Name of the journal in English: "Automatics & Software Enginery" (A&SE).

ISSN 2312-4997 for the paper version in Russian

ISSN 2618-7558 for the electronic version in Russian

ISSN 2619-0028 for of English online pdf-version

Registration certificate PI N ФC77-55079

Established: June 2012

**Founder of the journal:**

Public Joint-Stock Company "Novosibirsk Institute of Software Systems"

Organization website: [www.nips.ru](http://www.nips.ru)

The journal is included in the scientometric base of the RSCI (Russian Science Citation Index, contract No. 497-08 / 2014 of 08.20.2014).

**Editorial address:**

630090, Russia, Novosibirsk, ave. Academician Lavrentiev, 6/1,

NIPS PJSC, Deputy Director for Science

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

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

Signed to print July 22, 2022

## Виртуальная наука

*В.А. Жмудь*

АО «Новосибирский институт программных систем», Россия  
Институт лазерной физики СО РАН, Россия  
Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН

*Аннотация:* Статья обсуждает огромный поток некачественных публикаций, формирующих виртуальную научную квази-реальность, которая может не иметь к науке как таковой никакого отношения. Используя методику анализа проблемы фейков в СМИ, выполненную в публикации С. Ильченко, статья подходит с такими же критериями и с такими же методами рассуждений к задаче анализа потока научных и не вполне научных публикаций. Статья предназначена для аспирантов (докторантов), изучающих предметы «Академическое письмо» и «Методы научных исследований».

*Ключевые слова:* наука, публикации, цитирование, экспертиза, фейк, псевдонаука, лженаука, виртуальная реальность

### ВВЕДЕНИЕ

«Наша задача как теоретиков, рефлексирующих в контексте шоу-цивилизации, попытаться выработать защитные механизмы от двух напояющих на профессиональную среду «И» – имитация и интерпретации. Опыт последних лет показывает, что в условиях развернувшегося информационного противостояния на всех уровнях решение обозначенной проблемы затруднительно. Однако искать варианты необходимо. Прежде всего чтобы закладывать на уровне обучения азам журналистики те стандарты работы с информацией, которые в будущем позволят сохранить у потенциальной аудитории доверие к данной сфере человеческой деятельности. Это вопрос выживания журналистики в век бурного развития коммуникационных технологий».

С. Ильченко [1, с. 200–201]

«По сути, в ряде случаев кадры кинохроники, по большей части воспринимаемые зрителями как аутентичные и соответствующие реальности, на самом деле являются модификацией исторических визуальных фейков».

С. Ильченко [1, с. 144]

В замечательной книге доцента кафедры тележурналистики СПбГУ, журналиста Сергея Ильченко «Как нас обманывают СМИ» [1] рассказывается и демонстрируется на многих убедительных примерах о том, как средства массовой информации (СМИ) формируют особую виртуальную реальность, которая никак не соответствует реальности в её традиционном понимании, но оказывает влияние на степень информированности и, точнее сказать, степень обмана читателей, каковыми является практически всё читающее большинство мировой интеллигенции.

Эта особая форма информационной данности влияет на настроения большинства читателей намного больше, чем «реальная реальность»,

поскольку о фактах без искажений сообщают меньше, реже, и без соответствующих комментариев, тогда как фейковые сведения получают широкий резонанс, вследствие чего, они проникают в души и умы намного глубже, тем самым влияя на оценки людей, следовательно и на их подведение, следовательно, формируя реальность по законам реагирования на указанные фейки так, как следовало бы реагировать на достоверную информацию.

В современных условиях имеются многие доказанные факты того, что умело поданные фейковые сведения оказывают на огромное сообщество людей настолько сильное влияние, что они готовы осуществлять действия себе во вред только потому, что уверены в их необходимости и справедливости, хотя такая уверенность базируется лишь на умело поданной недостоверной и подчас полностью неверной информации. Кроме того, как известно, даже небольшая доза неправды, добавленная в достаточно достоверные сведения, делает их уже полностью недостоверными, подобно тому, как даже небольшая доза отравы делает вполне доброкачественную пищу несъедобной.

Данная статья посвящена аналогичным методам формирования фейкового пространства, но не в области политики или экономики, а в области науки в целом, в области конкретных научных достижений, научных открытий, фундаментальной науки.

Любопытно, что методы, результаты и влияние виртуальной фейковой науки во многом идентичны методам, результатам и влиянию виртуальной фейковой реальности. Поэтому указанная книга будет крайне полезной в плане инструментария её анализа для анализа фейковой науки. Отметим также, что наряду с фейковой наукой уже начинает возникать и фейковое образование, то есть такой процесс, в результате которого появляются выпускники школ, университетов, аспирантур и докторантур,

которые, судя по формально выданным им документам обладают некоторыми важными знаниями, компетенциями и навыками, но на самом деле таковыми не обладают. Это – отдельная тема для отдельного разговора.

#### ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

«Каждый хочет, чтобы его информировали честно, беспристрастно, правдиво – и в полном соответствии с его взглядами»

Гилберт Честертон [1, с. 43].

Ильченко приводит достаточно полный и обоснованный перечень «грехов» СМИ, связанной с ложью [1, с. 22]. Этот перечень в полной мере относится к разбираемой тематике, поэтому воспроизведем его полностью. К этим «грехам» относятся: подмена понятий, фальсификация, мистификация, очевидная ложь, лесть, введение в заблуждение, подтасовка фактов, превознесение, преувеличение, преуменьшение, лож из-за устаревшей информации, лож из-за двусмысленной информации, невольная ложь, ложное утверждение.

Фейковой реальностью мы называем ту выдуманную и поэтому несуществующую реальность, псевдо-реальность, которую большинство читателей, зрителей, слушателей и иных потребителей подобной информации воспринимает как реальность, поскольку доверяют источникам указанной фейковой информации.

Манипуляцией мы называем действия, которые вынуждают лиц, получающих недостоверную информацию, действовать так, как если бы эта информация была бы правдой, при условии, что эти люди бы ни в коем случае не действовали так, если бы знали, что эта информация ложная.

#### К ВОПРОСУ О РЕЙТИНГОВЫХ ЖУРНАЛАХ

«Учить людей трудно, а морочить легко».

Дион Хрисостом [1, с. 65]

«Прежде всего нужны факты, а уж затем можно их перевернуть».

Марк Твен [1, с. 193]

Приведем одну цитату из книги Ильченко: «Ведь известно, что сейчас в медиaprостранстве *доминирует* не тот, кто обладает информацией (её объем настолько велик, что такое состояние по факту невозможно), а тот, *кто*, во-первых, *контролирует самые востребованные каналы её распространения*, и, во-вторых, тот, кто наиболее оперативно их активизирует для компоновки новостных потоков» (курсив наш) [1, с.47].

Проведем аналогии. В области информационных СМИ *наиболее расприаренным*

изданиям читатели доверяют без малейших сомнений, тогда как изданиям менее известным не доверяют вовсе. Такая же картина в отношении доверия руководителей и экспертов от науки к научным публикациям: это доверие строится полностью и целиком исключительно на рейтинге самого издания, это доверие или недоверие вовсе или почти никак не зависит от содержания статьи.

Стоит вспомнить, что рейтинг журналов определяется цитированием статей из него. То есть упоминанием публикаций этого журнала в других журналах.

Давайте задумаемся. Поставим таком мысленный эксперимент. Представим себе двух разных летописцев, которые составляют свои летописи путем опроса различных свидетелей тех или иных событий. Откуда же ещё летописцам черпать сведения? Ведь они сами не могут быть свидетелями всех самых важных событий, происшедших в его время. Свидетель может быть надежный, или ненадежный. Допустим, что правдивый свидетель 1 сообщил о каком-то вполне обычном явлении летописцу 1, например, он сообщил «год такой-то выдался неурожайный». А весьма ненадежный свидетель 2 сообщил о каком-то из ряда вон выходящем явлении летописцу 2, например он сообщил: «в этом году икона плакала кровавыми слезами». Оба эти сообщения летописцы добросовестно записали в свои летописи. О достоверном и тривиальном событии из летописи первого летописца никто не будет вспоминать, кому какая разница, что был когда-то неурожайный год? Ведь такое бывает достаточно часто. А вот икону, которая плачет кровавыми слезами, запомнит всякий читатель, и не раз вспомнит. Если бы летописцы списывали друг у друга, как это делают деятели науки, и если бы они были при этом обязаны упоминать первоисточники, как это требуют от этих самых деятелей науки, тогда летопись первого летописца мало кем цитировалась бы, тогда как летопись второго летописца цитировалась бы очень часто. Следовательно, тот, кто публикует недостоверные, но шокирующие сведения, будет упоминаться чаще. А если количество упоминаний приравнять к надежности и достоверности источника, получается, что тот, у кого богаче фантазия, кто позволяет себе выдавать вымысел за правду, тот в глазах общества и более правдив. Разве не парадокс?

По-видимому, многие читатели «от науки» согласятся, что применительно к информационным средствам можно согласиться, что наиболее сенсационные СМИ более популярны, но они возразят, что эта популярность не приравнивается к критерию их правдивости. С этим можно поспорить. Популярность в данном случае как раз и означает то, что этим СМИ доверяет больше людей. Также

нам могут возразить, что в научной среде чаще цитируют не то, что потрясает воображение, а то, что в наибольшей степени доказано, то есть более достоверно. С этим мы тоже не согласимся. Цитируют больше именно те статьи, которые сообщают нечто особенное. И ещё – это важно – цитируют больше статьи из наиболее цитируемых журналов, поскольку именно их-то больше читают. Принцип в науке такой: если эти журналы никто не читает, то и мы не станем их читать. А если их читают все, значит, эти журналы самые важные и достоверные.

Ну, по такому принципу Библия и другие религиозные книги далеко опережают любые научные журналы, их и читают больше, и цитируют чаще. Следует ли из этого, что эти источники сведений наиболее достоверны? Вдумайтесь в смысл подобной логики. Она означает следующее: «Если о написанном больше судачат, то, следовательно, написанное – правда. А если написанное не вызвало общественного резонанса, следовательно, написанное – не правда». Выходит, что реакция неосведомлённых людей на сообщения, истинность которых они проверить не могут, является критерием истинности этих сообщений. Нормально? Разве с этим можно согласиться? Но в современной науке вследствие учета рейтинга журналов при оценке публикаций официально действует именно этот критерий: бурная реакция читателей на сведения придает сведениям статус достоверных, а отсутствие реакции читателей на сведения придает им статус недостоверных.

Возникла благоприятная среда для создания целой формации сведений, основанных, по сути, ни на чем. Эти сведения, подпитывая друг друга и вбирая новые столь же необоснованные сведения, могут создавать всё расширяющуюся вселенную фейковых (т.е. псевдонаучных) сведений, которые принимаются большинством за научные сведения.

Мнение большинства, даже если это – абсолютно некомпетентное по данным вопросам сообщество, действует как практически несокрушимый аргумент.

Награды и статусы, такие как научные и академические звания, почетные премии и так далее в науке присуждаются на основе голосования. Для указанных достижений требуется не доказательство, а убеждение, необходимо не доказать всем, а убедить большинство, что, если вдуматься, совершенно иное. Давайте начнём голосовать за теорему Пифагора – если большинство согласится, что квадрат гипотенузы прямоугольного треугольника равен сумме квадратов катетов, тогда этот вопрос будем считать решённым навсегда. Но если этот вопрос не наберёт

большинства голосов, в этом случае, получается, следует считать эту теорему ошибочной.

Профессиональные историки прекрасно знают, что мнение большинства зачастую очень далеко от истины. Так, например, Сальери не отравил Моцарта, Гомер не был слепым, Клеопатра не предлагала свою любовь тем, кто согласится на утро умереть в уплату за это, Брут не был сыном Цезаря, Кутузов не носил черную повязку на глазу, Годунов не причастен к смерти царевича Дмитрия, медведи не сосут лапу во время спячки, Нерон не сжигал Рим, пирамиды в Египте строили не рабы, спартанцы не сбрасывали детей со скалы<sup>1</sup> – можно бесконечно продолжать перечислять всеобщие заблуждения, ставшие классическими. Несмотря на это подобные предрассудки настолько крепко вошли в список «расхожих истин», что оспаривать подобные утверждения в почти любом случайном составленном обществе бессмысленно, всегда найдётся кучка «умников», которые с пеной у рта будут доказывать истинность подобных заблуждений. Историю Франции большинство наших соотечественников если каким-то образом представляет, то исключительно по романом Александра Дюма, Виктора Гюго и Оноре де Бальзака. В целом пьесы Шекспира формируют в умах интеллигенции гораздо больше представлений об истории, нежели какие-либо надежные источники. А основную часть представлений об истории формируют так называемые «исторические» фильмы. В целом с историей всё понятно, то есть почти всем понятно, что её почти никто не знает.

Но с другими науками, такими как физика, прежде всего, дело обстоит немногим лучше.

Стоит кому-то изобрести какой-нибудь приборчик, отличающийся от традиционного средства передвижения, как журналисты захлебнут, что очередному изобретателю удалось обмануть законы физики. Достаточно зарегистрировать какой-либо новый астрономический объект, вновь объявляется о необходимости пересмотра всех представлений об астрономии, и заодно и о физике в целом. Даже простая гимнастка может стать информационным поводом для заявления о том, что «нарушены законы гравитации». Эти примеры все же относятся к области фейковой журналистики, и не имеют прямого отношения к теме данной статьи.

Мы же хотим привлечь внимание читателей к тому, что вот уже несколько десятилетий, как минимум, трудами многих «исследователей» создаётся пласт за пластом, наслоение за наслоением целая вселенная фейковых достижений и фейковых научных результатов. Каждый отдельный результат может при этом быть настолько несущественным, что не задевает

<sup>1</sup> <https://lifehacker.ru/istoricheskie-mify/>



ничьих конкретно интересов, поэтому он вполне благожелательно воспринимается критиками и теми, кому назначено должностью стоять на страже науки. Эти «результаты» и утверждения, защищаемые положения и выводы постепенно заполняют «скрижали науки», создавая целые пласты псевдо-сведений и псевдо-достижений. Подобно тому, как на дне, казалось бы, кристально прозрачного океана за тысячелетия скапливаются многие метры осадочной породы, так и в скрижалях науки, куда как бы вносятся защищаемые положения бессмысленных диссертаций и многие пачки научных и околонучных журналов, наряду с действительными достижениями науки накапливаются псевдо-достижения псевдо-ученых, получающих далеко не псевдо-степени, позволяющие им занимать уж вовсе не псевдо-должности, получая вполне весомые заработки за организацию дальнейших псевдо-исследований.

### ПЕДАГОГИКА

«Постоянно ведется борьба за дефицитнейший ресурс – внимание»

Н. Больц [18], [1, с. 184]

«Пропускная способность нашей психики ограничена, человек способен сосредоточить свое внимание на более чем на пяти-семи темах. И это называется *maximum taximorum*. Чаще всего четыре-пять тем, а порой и меньше. Другими словами, человеческое внимание – дефицитный ресурс, и, как за всякий ресурс, за него идет постоянная борьба, которую мы, правда не замечаем».

В.Д. Соловей. [22], [1, с. 200]

В сфере, называемой «Педагогика» псевдонаука расцвела, возможно, наиболее махровым цветом. Возникли и прочно утвердились некоторые штампы, позволяющие писать квазинаучные статьи, которые с успехом публикуются в различных журналах. Также пишутся заявки на гранты на основании таких статей и с использованием таких же формулировок.

Например, какой-то, по-видимому, умник, создал штамп того, как следует определять актуальность предполагаемых исследований. В формулу вводится понятие «противоречие между...». Например, «актуальность предлагаемого исследования определяется противоречием между колоссальной потребностью в гибридных методах обучения и отсутствием достаточно однозначных критериев оценки их эффективности». При этом, как минимум, один из противопоставляемых тезисов достаточно сомнителен. Действительно, на каком основании можно утверждать, что в настоящее время отсутствуют достаточные критерии оценки эффективности гибридных

методов образования? Это не из чего не следует. Во-первых, методы такой оценки существуют, их достаточно много, во-вторых, не так уж нужны методы оценки, даже если бы их не было, это не мешало бы применять методы гибридного образования. Задумаемся, что означает термин «гибридное образование». Это всего лишь означает объединение традиционной формы образования с методами цифровых технологий и самообразования с использованием цифровых технологий. Будем предельно честны: вторая часть состоит в самостоятельной работе учеников или студентов с использованием, например, электронных учебников. Даже если добавить суда видеоматериалы, аудиоматериалы, средства виртуальной и даже дополненной реальности, принципиально это мало что меняет. Если школьник или студент не мотивирован в достаточной степени заниматься самообразованием, какие бы ему не были предоставлены технические средства и ресурсы, толку не будет. Если же его мотивация достаточна, то и простой учебник будет великолепным подспорьем для самостоятельного улучшения уровня образования, а любые из перечисленных дополнительных технических средств и возможностей будут лишь содействовать ещё более успешному образованию. Никакие критерии эффективности не нужны для того, чтобы начинать это внедрять, и внедрения уже осуществляются повсеместно. Как только появились компьютеры, их стали использовать во всех сферах деятельности, в особенности – в науке, в образовании и в развлечениях. То же самое можно сказать и про сеть интернет. В эти первые годы распространения вычислительной техники и сетевых технологий достоверно не было ещё написанных методик по использованию этих технических и программных средств для различных сфер человеческой деятельности, но это не помешало стремительному распространению их во всех этих сферах. Так почему же теперь требуются какие-то дополнительные методики, в то время, когда и опыт, накопленный за два десятка лет, как минимум, колоссальный, и учебников, методических пособий, монографий и пособий «для чайников» написано на эту тему несметное количество. Любопытен способ написания статей и заявок и любопытен эффект о такого написания. Важны два фактора во взаимодействии. Во-первых, авторы подобных утверждений (текстов, статей, заявок) ничуть не смущаясь, пишут совершенно необоснованные утверждения, выдвигают спорные и откровенно неверные тезисы, во-вторых, эксперты-рецензенты реагируют на них вполне спокойно, как бы соглашаясь с ними по умолчанию. Тем самым подобную чепуху принимают за чистую монету, за подобную чепуху платят деньги,

отчеты о расходовании денег на подобную чепуху встраиваются в базы выполненных НИР, становятся теми «кирпичиками науки», из которых строится если не всё здание Науки с большой буквы, то, по крайней мере, некоторое её крыло, некоторая часть «всемирной кладези знаний», несмотря на то, что содержание этой кладези – пустейшие и бессодержательные графоманские рассуждения на тему того, сколь полезно всё то, что давно уже происходит без всякого вмешательства на это тех, кто пишет для этого методики, составляет технологии оценивания и прочее, и прочее.

По результатам таких исследований пишутся и защищаются диссертации, как минимум, кандидатские, но нельзя исключать, что и докторские.

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ

«Фейк как явление информационной сферы имеет прямое отношение к шоу-цивилизации, имитирующей эмпирическую действительность путем создания виртуальной реальности преимущественно в электронных СМИ, а также в пространстве Сети».

С. Ильченко [1, с.279]

Аналогичным способом кое-где осуществляется «автоматизация», «цифровизация», то, что раньше назвалось «научной организацией труда». То, что в известной басне И. А. Крылова называется «мы пахали». Авторы статей и проектов, претендующих на финансовую поддержку, и подчас получающие таковую, утверждают, что они создают базы данных, обосновывающие автоматизацию, создают концепции автоматизации, разрабатывают какие-то технические требования, по которым никто не собирается что-либо создавать, поскольку для любого разработчика значение имеют только те технические требования, которые разрабатывает заказчик, то есть организация или лицо, имеющее средства, достаточные для финансирования исследований, и согласные эти средства на эти исследования израсходовать. Все остальные рассуждения и инициативные разработки концепций – это пустопорожнее занятие. И деятели, занимающиеся этим, прекрасно понимают, что по их концепциям ничего никто делать не собирается, поэтому они не несут ответственность за истинность и научную обоснованность написанного ими, поэтому они легко берутся за любую подобную работу, которую сами себе выдумали, но на которую получают из государственного бюджета далеко не выдуманные деньги.

По результатам таких разработок концепции автоматизации также пишутся и защищаются диссертации, кандидатские и докторские.

#### АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ

«По свету ходит чудовищное количество лживых домыслов, а самое страшное, что половина из них – чистая правда».

Уинстон Черчилль [1, с.278]

Зарегистрировать программный продукт может каждый. Никто не проверяет, работает ли данный программный продукт. Можно даже предположить, что в последнее время стали применять какие-то формальные проверки, но ранее их достоверно не было, поскольку для регистрации не требовали полные коды, достаточно было предоставить только несколько первых страниц в распечатанном виде. В последнее время стали требовать коды программы на компакт-диске, поэтому теоретически эксперты могут обладать возможностью проверки работоспособности предлагаемых программ, но едва ли это возможно технически, с учетом того, что некоторые программы предназначены для использования на специализированном оборудовании. Кроме того, часть регистрационных документов выдается за так называемые алгоритмы, или за базы данных, или за другие виды «программных продуктов», которые, строго говоря, программными продуктами не являются. Можно написать просто несколько строк, назвать это алгоритмом и получить соответствующее свидетельство о регистрации «программы для ЭВМ».

Например, две-три дамы гуманитарного толка, например, доценты педагогики, хотят получить финансирование из госбюджета и пишут проект по развитию цифровых методов и внедрению их в образование. Для того, чтобы подобные проекты были приняты экспертами всерьез, следует доказать, что данный коллектив способен, действительно, создавать что-то полезное, что можно охарактеризовать как «цифровые технологии». Они пишут статьи в местных журналах, в заглавии которых имеются слова «методика», «методические основы», а иногда ещё и такие термины как «когнитивные основы», «синергетический эффект», и прочее, и тому подобное. Но ведь им надо ещё показать свою компетентность в сфере создания цифровых технологий! Они осуществляют опрос школьников, студентов, преподавателей по составленным ими опросникам. Например, они спрашивают: «Считаете ли вы, что в вашем образовательном учреждении информационные технологии используются в достаточной мере?» или «Используете ли вы в своей учебе или профессиональной деятельности информационные технологии?» и так далее. Высокой компетентности или особого ума для составления таких опросников не требуется, и это для них шанс. Собирают результаты таких

опросов и уговаривают какого-нибудь студента информационного направления загнать эти данные в некоторую «базу данных», после чего эту базу данных регистрируют как программный продукт. Студента можно включить в перечень авторов, тогда ему и оплачивать эту работу не обязательно. Таким путем возникает программный продукт. Формально такая «публикация» приравнивается к публикации в журнале из приоритетного перечня ВАК, то есть если таких продуктов будет 4-6, формально можно защищать достаточно крепкую кандидатскую диссертацию, а если их будет 20 и более, можно уже и на докторскую диссертацию замахнуться. И не обязательно по специальности «Педагогика», можно и по каким-то техническим и информационным наукам попытаться позиционировать себя как продвинутого ученого. Если это не фейк, тогда что это?

#### ЛОГИСТИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

«Для ... создателей фейков важнее нанести эмоционально-интеллектуальный удар. Чем сообщить точную информацию».

С. Ильченко [1, с.197]

Известны публикации, рассказывающие об автоматизации задач по примеру классической и широко известной задачи оптимального раскрытия или задачи оптимального распределения ресурсов. Приходилось собственными глазами наблюдать, как по железной дороге везут вагоны с каким-либо стандартным грузом (с углем, с гравием, с песком или с древесиной) сначала в одну сторону, а затем с таким же точно грузом в другую сторону. Имеются весьма существенные основания предполагать, что во многих случаях для решения берется некоторая абстрактная задача, в которой все исходные данные статичны и достоверно известны, именно поэтому такая задача весьма успешно решается, на основании такого решения вычисляется якобы экономический эффект от этого решения, что и даёт основания для якобы научной статьи. Тут можно взять любой объект и писать себе статьи по несколько штук в год. Условия задачи можно выдумывать, так сказать «для простоты» с самыми простыми вариантами, постепенно усложняя для того, чтобы было о чем написать следующие статьи. Совершенно не важно, что вы будете предлагать автоматизировать – полив улиц или посыпку улиц песком, вывоз мусора или автоматический подкорм голубей, или же, наоборот, автоматический отпугиватель голубей от памятника. Главное, настаивать на полезности своей идеи и писать одну статью за другой. Сначала в простенький журнал, потом уже со ссылкой на себя как на классика – в более уважаемые журналы. Если хватит терпения и

здоровья, можно стать прижизненным классиком данного научного направления.

Был и такой интересный пример: один университет купил машину, которая осуществляет сжатие некоторой заготовки и фиксирует силу, при которой происходит её разрушение. Можно посадить к такой установке студента, дать ему образцы каких-то материалов, и пожалуйста – будет он составлять таблицы зависимости силы критического сжатия от материала. А если ещё использовать аналогичные материалы разной структуры, например, сначала с хрустом ломать обычный пенопласт, а затем – склейки из пенопласта, потом – склейки из пенопласта с картонными прослойками, далее можно варьировать толщину и (или) количество слоев и так далее. Это при двух материалах можно создать несколько десятков вариантов, а если начать манипулировать с тремя или более материалами, то хватит на несколько десятков статей по «материаловедению». Статьи будут выглядеть весьма добротно, ведь они будут содержать и графики, и таблицы, сплайн-линии, и допуски, и расчеты средних показателей, а также дисперсии, если проводить несколько опытов. Формулы могут в начале статьи быть какие-то добавлены, из общих соображений, и не страшно, что они потом никак не используются, статья будет выглядеть достаточно научнообразно. Смысла в этом нет никакого, кроме статьи, но статью опубликуют, следовательно, со временем и диссертацию можно будет защитить, и грант выиграть. А если ещё приобрести другой станок, который будет испытывать такие же образцы материалов на разрыв, а третий станок – на разрыв при скручивании, то такое исследование можно продолжать вечно, пока на пенсию не выйдет исследователь уже в ранге доктора наук, профессора, со многими учениками. На вопрос: «Вы, действительно, предполагаете использовать пенопласт в качестве несущего материала при строительстве домов?» студент, выполняющий подобные исследования ответил невнятно и обтекаемо.

#### ВЫПУСКНЫЕ КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ РАБОТЫ – БАКАЛАВРСКИЕ И МАГИСТЕРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ

«Объективность – другое слово для нас, журналистов. Нам в нашей работе нужны только две вещи: источники и сбалансированная информация». «Чтобы гражданское общество нормально функционировало, нам нужна полная, правдоподобная информация».

Д. де Кошко (журналист), цитируется по С. Ильченко [1, с.198]

Ранее мы уже отмечали, что процветает практически легально бизнес по формированию

фейковых дипломных работ для магистров и бакалавров. Нельзя исключать, что и некоторые преподаватели участвуют в этом бизнесе. Остаётся лишь надеяться на то, что не встречается ситуация, когда сам же преподаватель даёт задание студенту, а затем через один из упомянутых нами ресурсов получает себе же эту задачу, которую на платной основе решает. Если такое происходит, то подобный бизнес является верхом беспринципности, но даже если задачу ставит один преподаватель, а решает её другой преподаватель, аморальность действий второго преподавателя никоим образом не снимается. Давно пора создать ситуацию в законодательном поле, при которой подобная деятельность считалась бы не просто аморальной, но преступной, и наказывалась бы, как минимум, существенным штрафом с последующим увольнением из сферы науки и образования навсегда. Разумеется, при условии доказательного обвинения в подобных действиях.

Другая форма подобных фейковых работ – это заимствование из открытых и не очень открытых источников чужих результатов с последующим присвоением этих результатов себе в форме включения в диссертацию. Схема заимствования усложняется по мере развития этого бизнеса. Если раньше студенты были настолько примитивны, что просто брали материал из первого попавшегося источника, то теперь существуют специальные сайты, где такую работу можно заказать. Кроме того, специалисты по созданию таких диссертаций используют следующую методику, с которой мы столкнулись на собственном опыте. Берутся несколько зарубежных статей на тему, близкую к назначенной теме исследования. Далее они переводятся на русский язык, редактируются даже графические материалы, на которых все англоязычные надписи заменяются на надписи на русском языке. Редактируется и библиография, количество источников, на которые ссылается данная работа, сокращается, а также этот перечень перерабатывается по правилам оформления ссылок, действующим в данном университете. В результате поисковые ресурсы, осуществляющие поиск заимствований, не находят такого заимствования, сделанная по такой технологии диссертация приобретает статус полностью оригинальной. Методику отыскания такого заимствования пришлось изобретать, и она сработала безотказно, именно по этой причине мы её не раскрываем, поскольку среди наших читателей могут оказаться такие же недобросовестные студенты, или предприниматели из этой сферы деятельности, и если они узнают метод отыскания такого заимствования, они смогут предпринять

соответствующие меры, защищающие их от этого метода расследования.

## МЕТОДЫ ФЕЙКОВОЙ ВИРТУАЛЬНОСТИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

«Материал для господина Онодэры нужно было тщательно отобрать и скомпоновать, чтобы не вызвать сразу у него подозрений, он должен был включать правдивую, но маловажную информацию, смешанную с ложными, вводящими в заблуждение сведениями».

Вальтер Шелленберг. В паутине СД [2].

Мы вернемся к книге [1], чтобы наиболее наглядно показать, насколько близкородственны методы обмана в средствах массовой информации для создания особой политической реальности (не имеющей ничего общего с действительностью) с методами создания фейковой науки. Цитата из книги [2] показывает, как умело фашистская пропаганда и идеологическая диверсия использовали методы дезинформации: маловажную правдивую информацию дополняли вводящими в заблуждение ложными сведениями. Правдивая компонента информации должна была убедить адресата этих сведений в правдивости всех сведений в совокупности, а лживая часть должна была воздействовать на адресата в нужном направлении, чтобы заставить его сделать ошибочные действия.

Из этого видно, что одна из наиболее опасных форм лжи – это ложь в малых дозах, примешанная к значительной части правдивой информации. Каждый читатель, по-видимому, сможет припомнить примеры из собственной жизни, когда сведения, которые в целом не лживы, принимались как достоверные целиком и полностью. Так, например, если в диссертации имеется лишь небольшая часть недостоверных сведений, это не мешает успешной защите этой диссертации, поскольку ведь основная часть представленных в ней научных результатов представляется обоснованной. Небольшую ложь мы все прощаем, вне зависимости от того факта, что эта небольшая ложь может все представленные сведения перевернуть полностью.

Но ведь иногда небольшая поправка отменяет суть всего сказанного ранее.

Вспоминается литературный пример: «Как ты посмел съесть мои орехи?» – вопрошает один из собеседников. «Но ведь ты сам разрешил мне их взять!» – оправдывается второй, на что первый возражает: «Я разрешил их взять, но я не разрешал их съесть!».

Итак, небольшая ложь, будучи добавленной к большому объему достоверных знаний, может остаться незамеченной несмотря на то, что её



наличие перечеркивает всю суть сказанного в целом.

Следующий прием – использовать правду, но выборочно. «Почти вся эффективная пропаганда – неважно какая – правдива. Просто она использует правду выборочно» [3], цитируется по [1]. Таким образом, если автор утверждает новизну предлагаемых сведений, ссылаясь на собственный перечень наиболее известных публикаций по теме исследования, но не ссылается на те источники, которые эту новизну порочат, это уже как бы и не ложь. Такой способ игнорирования того, что уже опубликовано даже в том случае, когда подобные публикации просто обязаны быть известными автору, который их игнорирует, казалось бы, ненаказуемо. Так в нашей практике аспирант кафедры позволил себе утверждать, что он является автором одного технического решения, настаивая в своем докладе, что до него никто подобную задачу не решал, вопреки тому факту, что методы решения подобных задач не только опубликованы в статьях или книгах заведующего кафедрой, но, в числе прочего, описаны даже в учебном пособии, которое использовалось при преподавании одного из предметов на этой самой кафедре. Можно ли признать допустимым, чтобы описанный в учебнике метод аспирант пытался выдать за собственное достижение именно на той кафедре, на которой его обучали этому методу? Такое, к сожалению, возможно.

Что уж в этом случае говорить о тех случаях, когда тот или иной ученый не упоминает в своей статье или в диссертации известные публикации, порочащие новизну описываемых им так называемых «предлагаемых» технических решений? Много ли бывает оппонентов или ведущих организаций, которые предпринимая собственный литературный поиск для того, чтобы определить, являются ли технические решения, защищаемые диссертантом в качестве новых, и, следовательно, принадлежащих именно ему, в действительности новыми, или же они все-таки уже опубликованы ранее другими авторами?

Существует и такая возможность, как использование неопубликованных технических текстов, например, каких-либо заводских отчетов или технических описаний по разработанным системам или выполненным НИР. Студенты могут быть близкими родственниками сотрудников, в чьи руки попадают подобные отчеты. Заимствуя из таких источников чужие достижения и выдавая их за собственные результаты, студенты могут изготовить весьма добротную бакалаврскую или магистерскую диссертацию. Поэтому весьма настораживают чрезвычайно (и излишне) качественные выпускные квалификационные работы, выполненные по темам, предложенным студентами. В особенности настораживают

высококачественные иллюстрации, на изготовление которых студент, казалось бы, должен был потратить весьма много времени, и при этом он должен обладать недюжинным талантом, а также и опытом формирования таких иллюстраций. К сожалению, научные руководители весьма благосклонно воспринимают иллюстрации высочайшего качества, тогда как следовало бы поинтересоваться, откуда эти иллюстрации появились, ведь если студент смог самостоятельно подготовить подобные иллюстрации, то он скорее является художником, нежели специалистом по техническим наукам. Если же он их заимствовал, тогда следует поинтересоваться, какова была цель заимствования высококачественных профессиональных иллюстраций для иллюстрации относительно простых тезисов? И не следует ли из такого заимствования, что и значительная часть текста диссертации, также заимствована, и даже вероятно из того же самого источника. Поэтому в данном случае, хотя, разумеется, нельзя утверждать, что чем хуже оформлена работа, тем она лучше, но следует согласиться все же с утверждением, что, как правило, чрезмерное качество иллюстраций является поводом предположить, что они не являются оригинальным результатом творчества диссертанта (студента).

#### БОРЬБА ЗА САМЫЕ ЦЕННЫЕ РЕСУРСЫ

«Можно утверждать: аудитории транслируют не объективные сведения или данные о каком-либо факте, случае, событии, а целенаправленно формируют образ факта, случая, события. Эмпирическая действительность в исполнении СМИ преобразуется в медийную реальность. Последняя и есть сама по себе реальность интерпретации эмпирика».

С. Ильченко [1, с. 224]

Самый ценный ресурс любого человека – это его время. Этот ресурс нельзя восполнить. Люди с опытом дорожат своим временем, поскольку уже понимают, что его запасы невосполнимы и ограничены. По этой причине привлечь внимание опытного специалиста не так легко, как кажется. Норберт Больц утверждал, что «постоянно ведется борьба за дефицитнейший ресурс – внимание» [4], цитируется по [1].

Дефицитность этого ресурса также работает на распространение фейковых достижений.

*Во-первых*, выслушивание диссертации, длящееся от 20 до 40 минут, наряду с заслушиванием сопутствующих документов, что в целом занимает от двух часов и более, далеко не каждый профессиональный эксперт осуществляет с должным вниманием. В этом



случае если слушатель про себя знает, что его внимание несколько раз отвлекалось от доклада, он воздержится от того, чтобы задавать вопросы о самой сути доложенной работы, поскольку вполне может допустить, что его вопрос покажется смешным или странным для тех, кто слушал доклад более внимательно. Как известно, молчащему легче сойти за умного, чем тому, кто задает вопросы. А тому, кто спорит и выдвигает собственные тезисы, сойти за умного ещё сложнее. По этой причине зачастую эксперты даже в том случае, когда они не полностью согласны с докладчиком, предпочитают смолчать, нежели вступать в спор или даже хотя бы задавать вопросы.

*Во-вторых*, в некоторых случаях, когда комиссии из высокопоставленных экспертов заслушивают доклады, влияющие на большие суммы финансирования, казалось бы, на каждый доклад следует отпустить достаточно времени, чтобы понять суть предложения, чтобы задать вопросы и услышать на них ответы. Но, как правило, чем выше суммы, распределяемые такими комиссиями, тем более высокопоставленные члены входят в эту комиссию, следовательно, их время и их внимание является в особенности дорогостоящим ресурсом. Если, например, ректору университета предоставляется пять минут для доклада программы развития на ближайшие пять лет, следует понять, что доложить что-либо доказательно за эти сроки нереально, можно лишь произвести на комиссию впечатление, или не произвести его. Следовательно, если комиссия не знакома с докладчиком (что бывает очень часто) и ни один член комиссии не дал себе труда заранее ознакомиться с материалами доклада (что бывает всегда без исключения), тогда за предоставленные пять минут докладчик именно должен произвести впечатление о собственной персоне, что в значительной степени более важно, чем убедить слушателей в правильности выдвигаемых тезисов. Подобный доклад может произвести впечатление только при условии исключительно убедительной графике, также благодаря ссылке на правильные авторитеты, поддерживающие работу, или входящие в консорциум исполнителей, или являющиеся соисполнителями либо конечными пользователями продукции проекта. Могут на принятие решения влиять и многие другие факторы, однако, по-видимому, бесспорным остается тот факт, что за пять минут нельзя доложить идею, потенциал, реализуемость и окупаемость инновационного проекта если не использовать именно профессиональные методы обольщения слушателей, что является намного более существенным, нежели суть и содержание предлагаемого проекта. Получается, что прекрасно представленная идея проекта даже

при не слишком высоком уровне её полезности является более вероятным претендентом на победу, нежели плохо представленная, но великолепная во всех прочих отношениях инновационная идея проекта.

Таким образом, дефицитность внимания, как невосполнимого ресурса слушателей, приводит к значительной вероятности неправильной оценки докладываемого проекта или его результатов.

Возможно, что этот факт также является одной из причин того, что в условиях почти неограниченного объема информации процент достоверности информации стремительно падает, а вопрос о достоверности предоставляемой информации является ключевым вопросом при восприятии любых сведений (хотя не каждый получатель этих сведений это понимает и помнит). «Вопрос о достоверности информации... был и остается сегодня диалектически и неразрывно связан с воздействием этой самой информации на аудиторию. Фейки, ранее существовавшие как экзотические, на грани анекдота, в виде примеров недобросовестной и непрофессиональной работы журналистов и медиа, не только стали множиться в геометрической прогрессии, но и приобрели качественно иной статус. Они трансформировались едва ли не в доминирующий формат пропаганды и контрпропаганды» [1, с.83].

#### НАУЧНАЯ СТАТЬЯ КАК САМОРЕКЛАМА

«Рекламу можно определить как искусство отключать сознание человека на время, достаточное для того, чтобы вытянуть из него деньги».

Стивен Ликок [1].

«Реклама есть искусство целиться в голову, чтобы попасть в карман».

Ванс Пакард [1].

«Реклама – это ложь, дозволенная законом».

Герберт Уэллс [1].

«Реклама – это искусство делать из полуправды целую ложь».

Эдгар Шоафф [1].

Любая научная статья является рекламой авторов, направленной на читателей. Поскольку в последнее время публикационная активность является весомым показателем эффективности научной деятельности, а измеряется она не содержанием опубликованных статей, а их количеством и тем, в каких именно журналах опубликованы эти статьи, все научные статьи превратились в рекламы авторов, нацеленные не рецензентов, и только.

Если рецензентам статья понравится, она будет опубликована, если не понравится, она будет отклонена. Что будет со статьёй дальше,

как правило, не заботит ни одного из авторов, за редким исключением. Если бы авторам требовалось просто сообщить читателям сведения о своих достижениях, они бы выбирали журналы с открытым доступом. В этом случае наиболее востребованы были бы журналы, не требующие никакой оплаты за опубликование. Что-то мы не наблюдаем, чтобы бесплатные журналы с публикацией в открытом доступе были завалены новыми статьями. Нет никаких очередей, например, и в журнале «АиПИ», который является бесплатным и оперативно размещает публикации в открытом доступе, причем, публикует статьи как на русском языке, так и на английском, так и на обоих языках сразу, если авторы дадут себе труд перевести статью на второй язык самостоятельно. Следовательно, возможность сообщить читателям новые сведения о себе не являются достаточно притягательными, настолько, чтобы мотивировать авторов направлять свои статьи в такие журналы. Следовательно, этих авторов привлекает в других журналах нечто совершенно иное, а не возможность поделиться своими результатами с большой аудиторией читателей.

Один из факторов может состоять в популярности журнала. Но этот фактор, по-видимому, недостаточен, ведь очень многие авторы направляют статьи в журналы, которые даже если и имеют высокий рейтинг, то есть обладают достаточной популярностью, но все же не размещают статьи в открытом доступе. Следовательно, в ближайшее время после опубликования статьи прочитают её очень немногие, до тех пор, пока статья не появится в бесплатном архиве старых статей (старых выпусков журнала). Но старые статьи цитируют плохо, да и читатели не любят читать старые статьи, ведь они не дают представления о современном уровне науки и техники. Следовательно, авторов привлекают в таких журналах именно их высокий рейтинг, который используется работодателем и грантодателем для оценки труда и компетенции каждого о дельного исполнителя и коллектива исполнителей в целом.

#### ДИСКРЕДИТАЦИЯ ЖУРНАЛОВ

«У меня такая безупречная репутация, что меня уже давно пора скомпрометировать».

Э. Рязанов, Э. Брагинский «Служебный роман»

В арсенале информационной войны имеется и такое средство, как дискредитация СМИ. Техника дискредитации проста: подбрасываются сведения, имеющие признаки достоверных, но которые достаточно легко опровергнуть. Далее следует дождаться принятия этих сведений за достоверные и опубликованию их в СМИ, а также желательно дождаться соответствующей реакции от получателей этой информации. Чем

сильнее будет реакция, тем сильнее взорвется эта «информационная бомба», которая нанесет сокрушительный удар данному СМИ или даже целому издательству, информационному агентству, или даже целой стране. Примеры многочисленны. Аналогичный метод применялся и против научных журналов с той или иной степенью эффективности. Достаточно вспомнить пример с так называемым «корчевателем» [6]. Авторы подобных розыгрышей далеко не обязательно ставят своей целью борьбу с достойным научным журналом. Чаще всего как раз подобные розыгрыши направлены на очищение списка научных журналов от недобросовестных, или очищение штата рецензентов и редакторов от тех, кто подходит к этой задаче формально. Подобные розыгрыши в случае, если они направлены на эти цели, следует, по-видимому, скорее одобрить, нежели осудить. Однако не следует исключать и того, что подобные методы могут быть использованы для устранения действительно достойных журналов с конкурентного поля деятельности. Данная возможность все же является полезным побудительным основанием для редакционных советов и редакционных коллегий быть более требовательными к качеству проведения экспертиз статей, представляемых для опубликования. Но против исключительной требовательности журналов можно привести контраргументы. Действительно, высокая требовательность рецензентов легко может скатиться до уровня неприятия всего нового, нетрадиционного, а это уже превышение полномочий экспертов. Ведь они не могут быть настолько высокочастотными специалистами по всем вопросам в предлагаемых им на экспертизу статьях, и равно настолько же непредвзятыми, чтобы ошибка в экспертизе статей была бы полностью исключена. Действительно, наибольшими специалистами в рассматриваемых вопросах, как правило, бывает либо сами авторы предлагаемой статьи, либо их ближайшие конкуренты. Конкуренты не могут быть объективными. Объективными могут быть только те рецензенты, чьи исследовательские интересы достаточно далеки от тематики статьи. Но в этом случае такие эксперты не являются достаточными специалистами, чтобы их экспертные заключения были бы безошибочными.

#### ФАКТ СВЯЩЕН, КОММЕНТАРИЙ СВОБОДЕН

«История – ряд выдуманных событий по поводу действительно свершившихся».

Шарль Монтескье [1, с. 227]

«Ничто не меняется так часто, как прошлое».

Жан-Поль Сартр [1, с. 227]

Знаменитая заповедь журналистов «Факт священен, комментарий свободен» уже устарела [1, с.124]. Как справедливо отмечает Ильченко, «этот лозунг превратился в его полную противоположность: интерпретация факта свободна, зато комментарий священен и обязателен» [1, с.124]. Интерпретация фактов идёт впереди самих фактов, она важнее фактов, она предвосхищает факты, поэтому те факты, которые не укладываются в уже готовую интерпретацию, отбрасываются, а бывает и так, что недостающие факты придумываются или подтасовываются. Этот же процесс можно найти и в области научных публикаций, мы думаем, что наши читатели сами смогут привести примеры такой ситуации. Широко известна фраза Гегеля: «Если факты противоречат моей теории, тем хуже для фактов» [6].

Если Клод Гельвеций сказал: «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов» [6], то многие авторы современных научных исследований могли бы сказать о своих изысканиях следующее: «Убежденность в некоторых принципах позволяет мне легко игнорировать некоторые факты». Из этого следует и реализация шуточного тезиса от Марка Твена: «Прежде всего нужны факты, а уж потом их можно перевернуть» [6]. Из этого следует точное замечание от Феликса Коэна: «Теории, в которые мы верим, мы называем фактами, а факты, в которые не верим, — теориями» [6].

В этой связи реализуется принцип, отмеченный Юрием Ханом: «Факт не имеет значения. Значение имеет только отношение к факту. И не говорите, что это я сказал! Я сказал, но вы..., — вы это сделали!» [6]. Итого ситуации подводят высказывания Стефана Грачинского «Факты — это песок, скрежещущий в шестернях теории» и Владимира Колечицкого: «Факты считаются упрямыми, если не подтверждают чью-то теорию» [6].

Про то, как подобная ситуация наблюдается в интерпретации отклонения света звезд вблизи Солнца, мы уже писали: сколько бы фактов ни указывали на то, что свет отклоняется вследствие газовой линзы, теоретики, которые вооружены представлениями о гравитационных линзах не желают не только обсуждать этот очевидный факт, но даже и признавать подобную возможность, несмотря на то, что 6 июня 1761 г. по отклонению света Солнца вследствие такого же самого эффекта М. Ломоносов открыл атмосферу на Венере, что ни один адекватный астрофизик не решится отрицать [7, 8].

#### ЦИТИРУЕМОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЗНАЧИМОСТИ

«Но это же факт? – Это гораздо хуже, чем факт. Так оно и было на самом деле»

Г. Горин [1, с.278]

Ильченко справедливо отмечает: «Частота присутствия в эфире [телевидения] не означает реальной важности личности» [1, с. 125], цитируя далее П. Бурдые: «Телевидение – это мир, создающий впечатление, что социальные агенты, обладающие видимыми признаками значимости, свободы, независимости, иногда даже невероятной ауры (достаточно обратиться к газетам о телевидении), на деле являются марионетками необходимости, которую нужно описать, структуры, которую необходимо выявить и выставить не всеобщее обозрение» [9]. Далее Ильченко пишет: «Новейшая история России знает и обратный пример, подтверждающий истину о том, что реальный масштаб личности для отечественной или мировой цивилизации определяется отнюдь не частотой появления в кадре» [1, с. 125]. Эта мысль должна быть расширена и до отношения к понятию «авторитет», о чем Шопенгауэр достаточно ясно и убедительно сказал, что авторитетность не имеет никакого отношения к истинности, равно как истинность никакого отношения не имеет к авторитетности, поскольку авторитет всегда зависит от времени и места, тогда как истина не может зависеть ни от времени, ни от места, из чего он делает вывод: «Чем ограниченнее знание и способности противника, тем большее количество авторитетов имеют для него значение. Если же он обладает очень хорошими способностями, то или мало, или совсем не признает авторитетов» [10]. Вследствие этого он отмечает, что даже самый обычный «рассудок едва ли можно приписать обыкновенному человеку; по крайней мере у большинства людей он чрезвычайно слаб. Мы видим, что даже там, где суждение людей не совсем подкуплено личными выводами и интересами (как большей частью бывает), все-таки главным основанием считают авторитет; они идут только по чужим следам, повторяют только то, что слышали от других, и хвалят, и ругают все единственно по примеру других. Раздались аплодисменты – они начинают аплодировать, раздаётся свист – и они начинают свистеть. Если видят, что другие бегут за кем-то – и они, не отдавая себе отчета, бегут вслед за ними. Если видят кого-нибудь покинутым, боятся подойти к нему. В жизни большинства людей, наверное, нет ни одного такого случая, о котором можно было бы сказать, что они решили так поступить и обсудили единственно на основании собственного рассудка» [10]. Тем самым он устанавливает, что авторитет не является не только достаточным основанием для признания или отрицания той или иной гипотезы, но даже и в целом авторитет не составляет никакой ценности среди аргументов «за» или «против», но, тем не менее, подавляющее большинство людей (и

следовательно, подавляющее число именно тех, кто принимает то или иное решение, в том числе и при управлении наукой) руководствуется именно мнением авторитетов. Если для людей науки достаточно убедительным может показаться утверждение, с которого мы начали данный раздел, то есть утверждение, что медийная популярность никак не доказывает значимости того или иного лица, то в отношении научной экспертизы эти же самые люди науки, по-видимому, в своем большинстве не согласятся с тем, что авторитетность того или иного специалиста или того или иного печатного издания не является доказательством истинности суждений (положительной или отрицательной оценки той или иной гипотезы) со стороны этого специалиста или этого издания. Имеем парадокс. Логически доказано и обосновано, что истина не в авторитете, но на практике авторитетность мнения является высшим мерилом его истинности.

Парадокс в том, что установление истинности или ошибочности утверждения фактически всегда определяется голосованием среди тех людей, которые не могут достоверно судить об истинности или ошибочности этого утверждения.

Получается, что можно в этом случае и не делать никакого научного исследования. Например, если нас интересует ответ на вопрос, который мы в настоящее время не можем найти никакими научными методами, то, может быть, целесообразно просто собрать соответствующую комиссию из специалистов в близкой области и попросить их проголосовать по вопросу истинности интересующего нас вопроса? Какое отношение такой способ имеет к науке? Ответ в том, что к научности этой методики такой способ не имеет никакого отношения, но к практике установления истины этот метод имеет самое прямое отношение. Действительно, опубликование в авторитетном журнале практически любого утверждения в научных кругах приравнивается к научному доказательству этого утверждения. Стоит напомнить, что наибольшую авторитетность имеют научно-популярные журналы и журналы и близкие к ним, то есть мультидисциплинарные журналы широчайших профилей. В этих журналах редакционные коллегии и эксперты являются специалистами чрезвычайно широкого профиля, которые привыкли иметь свое мнение по любой теме, по любому вопросу, который зачастую весьма далек от области их собственных научных исследований. Существенно меньшую авторитетность, как правило, имеют специальные узконаправленные журналы, которые посвящены очень узкой области науки, тогда как именно в таких журналах редакционные коллегии, как и эксперты, штатные и внештатные, в большей

степени знакомы с предметной областью журналов. Если мы хотим быть непредвзятыми и независимыми экспертами, нам следует оценивать научную статью только по его содержанию, чего в мировой практике науки давно уже нет. Статьи оценивают по тому, в каком журнале она опубликована, что составляет от 80 до 100% формальной оценки «качества» этих статей, то есть их «научной ценности». Но это настолько же нелепо, как считать, что чем более известно лицо данной личности, тем более оно значимо для общества. Лиц многих наиболее значительных людей, содействующих развитию науки и техники, общество вообще не знает, тогда как лица популярных актёров, певцов, шоуменов известны всем. Едва ли популярный ведущий какой-нибудь программы на первом канале российского телевидения значит для российской культуры и экономики больше, чем некоторые люди, чьих лиц, имен и фамилий народ вообще не знает. Проводя параллели, мы могли бы сказать, что едва ли самые известные научные журналы содержат всю самую важную научную информацию, и едва ли только эти журналы определяют темпы и направление развития мировой науки. Едва ли справедливо оценивать «качество» и «ценность» научной статьи по месту её опубликования. Но этот критерий имеет место, и он будет иметь место в дальнейшем, его значимость будет возрастать, следовательно по-настоящему научные критерии в оценивании сведений в сфере науки будут постепенно утрачивать свои позиции, и с этим, к сожалению, ничего поделать невозможно.

Может быть, пора уже начать решать научные проблемы голосованием, коль скоро все равно окончательное признание научных достижений осуществляется именно этим путем? Для чего ставить сложные эксперименты, с целью, например, выяснение, есть ли жизнь на Марсе, когда можно просто проголосовать. Если большинство считает, что на Марсе жизнь имеется – тогда будем считать это установленным фактом, если большинство так не считает, будем считать установленным фактом отсутствие таковой. Так ведь можно решать любые спорные вопросы в науке! Вас интересует, сколько миллионов лет назад вымерли динозавры? Ставим на голосование различные версии. Хотите знать, имеется ли нефть под толщами льда Антарктиды? Давайте голосовать! Хотите узнать, существует ли снежный человек, или возможны ли путешествия во времени? Все эти вопросы, по-видимому, тоже можно решить путем голосования, коль скоро все вопросы, касающиеся финансирования проектов и выдачи всевозможных дипломов и аттестатов решаются фактически именно голосованием. Во всяком случае, не видно принципиальной разницы, почему в одних случаях мнение большинства является



достаточным основанием для окончательного решения, а в других случаях требуется что-то иное. Если это «что-то иное» более существенно, то, может быть, нелишне было бы требовать этого и при решении о присуждении званий, степеней, при избрании на должности и при выделении существенного финансирования? Мы не утверждаем, мы лишь задаём вопросы.

### ТЕХНОЛОГИЯ *POWERPOINT*

«Зритель, видя HV-иллюстрацию, склонен испытывать к ней доверие (все снято по-настоящему, как не поверить своим глазам!?)».

С. Ильченко [12], [1, с. 138]

Термин, вынесенный в заглавие данного раздела, означает технологию визуализации докладов и сообщений. Один из вариантов трактовки этого термина состоит в том, что **визуализируются несуществующие достижения**. Суть этого процесса состоит в том, что как для получения средств, так и для отчета по их расходованию в некоторых случаях достаточно предоставить определенный набор бумажных и (или) электронных документов, а на решающих стадиях – стартовой стадии принятия решений по финансированию и финишной стадии для признания расходов финансирования оправданными (и принятия отчета о выполненной НИР, ОКР или НИОКР) – в некоторых случаях самым важным событием является демонстрация презентации в кругу высокопоставленных экспертов. Коль скоро, заявка и отчет в форме презентации являются основными событиями в действии по освоению финансирования, остальные действия автоматически становятся менее значимыми. Здравый смысл подсказывает, что умение прекрасно визуализировать научно-коммерческое предложение является на критически важным, а умение прекрасно визуализировать отчет о выполненной работе и вовсе является неважным. Гораздо более важными факторами на стадии принятия решения являются способность коллектива с данным руководителем выполнить поставленную работу в заявленные сроки при заявленном финансировании, целесообразность данной работы и возможность внедрения этих результатов в реальную экономику путем промышленной реализации и использования выполненной разработки, но жизнь иногда выдаёт примеры именно того, что гораздо более значимыми являются возможности формирования привлекательной презентации. Ещё более удивительно то, что эти же таланты оказываются ключевыми и на стадии отчета по выполненной работе, тогда как для экономики более важным было бы фактическое положение вещей с выполненной разработкой. Несомненно, что некоторые специалисты могут иметь таланты

формировать и докладывать прекрасные презентации при совершенно неприемлемой фактической ситуации, также как могут иметь место примеры недостаточно высококачественной презентации и самого доклада вопреки тому факту, что результаты выполненного научного исследования полностью соответствуют поставленным целям и задачами и даже могут их превосходить. Понятна и причина того, что высококачественная презентация проекта содействует высокой её экспертной оценке, тогда как низкокачественная презентация способствует низкой оценке. Мы не убеждены, что если бы А. С. Попов просил средства на создание технического средства для беспроводной передачи информации на большие расстояния, или если бы И. И. Ползунов просил бы средств для разработки паросиловой установки, они могли бы подготовить красочные плакаты и сделать идеальный доклад о целесообразности этих исследований и об обоснованности материальных затрат, едва ли бы они смогли объяснить, какую инфраструктуру они собираются создать для коммерциализации своих разработок. Но руководители фондов, распределяющих средства, справедливо полагают, что если руководитель проекта уже на стадии заявки способен создать убедительный документ, сопровождающийся красочной и убедительной презентацией, то от такого руководителя можно ожидать и высококачественной презентации по итогам исследования, при этом очевидно, что некоторые особенно удачные слайды можно будет использовать в итоговой презентации, с помощью которой фонд финансирования научных исследований сможет отчитаться перед теми руководителями или теми структурами, которые этот фонд обеспечивают финансированием и которые по этой причине контролируют правильность расходования средств в целом.

Для наполнения презентаций необходимы научные публикации, но как мы многократно показывали, при наличии денег, публикации даже самого высшего рейтинга можно сделать относительно легко, тогда как без денег бывает крайне трудно осуществить даже не слишком рейтинговые публикации: хотя бесплатные журналы, входящие в соответствующие базы данных, имеются, в них рецензирование очень строгое, процесс рецензирования и опубликования затягивается надолго, тогда как в огромном количестве относительно сговорчивых платных журналов, конференций и симпозиумов проблемы с опубликованием решаются быстро, эффективно, но дорого.

Поэтому совершенно прав был Д. Нейсбит, который написал: «Один из самых активных процессов в мире информации – визуализация



сообщений. Захваченные океаном информации компании используют системы визуализации, предоставляя свои сообщения в изобразительной форме» [11], цитируется по [1, с.126]. Многие из нас, например, когда видят по ТВ изображение летящего спутника, не задумываются о том, что это в абсолютно подавляющем большинстве случаев не фактическое изображение этого спутника, а компьютерная анимация, или, как это было ранее, комбинированные съемки. Если в космическом пространстве летит спутник, то поблизости, как правило, не присутствует другой спутник, который осуществлял бы съемки этого спутника для демонстрации по ТВ. Также по ТВ иногда в научно-популярных программах о строении Вселенной и о космосе показывают такие кадры, при просмотре которых создается впечатление, что зритель перемещается на космическом корабле и видит, как звезды движутся навстречу этому движению со стереоскопическим эффектом, т.е. картинка не плоская, а как бы раздвигающаяся навстречу зрителю. Эти кадры преподносятся как кадры, полученные с помощью мощнейших современных телескопов, но на самом деле никакой телескоп не только с орбиты Земли, но даже при достаточном удалении от Земли в пределах Солнечной системы никогда не сможет получить серию изображений, на которых относительное положение звезд друг относительно друга существенно изменились бы. Если какая-то звезда заслоняет от нас другую звезду, находящуюся на той же линии наблюдения, тогда мы эту заслоненную звезду никак не сможем наблюдать с помощью телескопа на орбите Земли, для того же, чтобы звезды «разбегались» перед нашим зрением, раскрывая те участки пространства, которые ранее были за ними, следует переместиться на расстояния, соизмеримые с расстояниями от Солнца до этих звезд, а, как известно, самая ближайшая к нам звезда находится на расстоянии более четырех световых лет. На основании сказанного понятно, насколько можно доверять и другим изображениям, например, видео изображению так называемой «черной дыры».

В так называемых документальных фильмах зачастую используется один из нескольких приемов создания видеоизображения под тот текст, который написан в сценарии. Во-первых, изображение может быть сделано методами мультипликации и анимации, причем, в последнее время анимация почти неотличима от документального видео на взгляд непрофессионального зрителя. Во-вторых, могут быть показаны кадры документальной хроники,

не имеющей прямого отношения к излагаемому факту, но похожие на взгляд непосвященного зрителя. Так, например, рассказывая о голоде в Москве в 1917 году между февральской и октябрьской революции, некие «документалисты» использовали кадры, снятые в блокадном Ленинграде во времена Великой отечественной войны [1]. В-третьих, может быть использована актерская игра, что называется «реконструкция обстоятельств», но зрителям не всегда сообщают о том, что им показывают не реальное видео, а эту пресловутую реконструкцию. В-четвертых, может быть использовано видео из художественных фильмов, которое по внешнему виду вполне соответствует ожиданиям зрителей о том, как могли бы выглядеть подобные кадры. Так, например, во многих документальных фильмах, рассказывающих об Октябрьской революции, документалисты использовали кадры из художественного фильма С. Эйзенштейна «Броненосец Потёмкин», что оказало столь существенное влияние на восприятие событий, что некоторые экскурсоводы и даже историки стали описывать эти события, опираясь в числе прочего и на эти кадры, которые далеко не в полной мере соответствуют истинным событиям в эти исторические часы [1, с. 148].

Точно также происходит в науке, например, привычное всем «изображение атома» можно легко найти, если задать соответствующий запрос в интернет-поисковике, однако, ни одно из этих изображений не соответствует истине, во-первых, поскольку оптического изображения атома вообще не может существовать в принципе, во-вторых, даже если данное изображение трактовать как изображение модели атома, то все эти изображения не соответствуют никаким конкретным моделям, в настоящее время наука не может адекватно описать атом с помощью какой-либо модели, которую можно было бы визуальным образом изобразить. Тем не менее, эти изображения плотно укоренились в сознании каждого хотя бы в меру образованного человека, и в ответ на просьбу «нарисуйте атом» почти каждый современный человек изобразит приблизительно одно и то же: ядро с несколькими эллиптическими орбитами вокруг него, и на каждой такой орбите нарисует один или два электрона в виде точки, примеры приведены на *Рис. 1*. Предлагаем нашим читателям провести эксперимент: показать любую из этих иллюстраций любому человеку и спросить, что именно тут изображено. Наиболее популярным ответом (если не в 100% случаев, то близко к этому) будет «Атом». Но атом так не выглядит, и не может выглядеть.

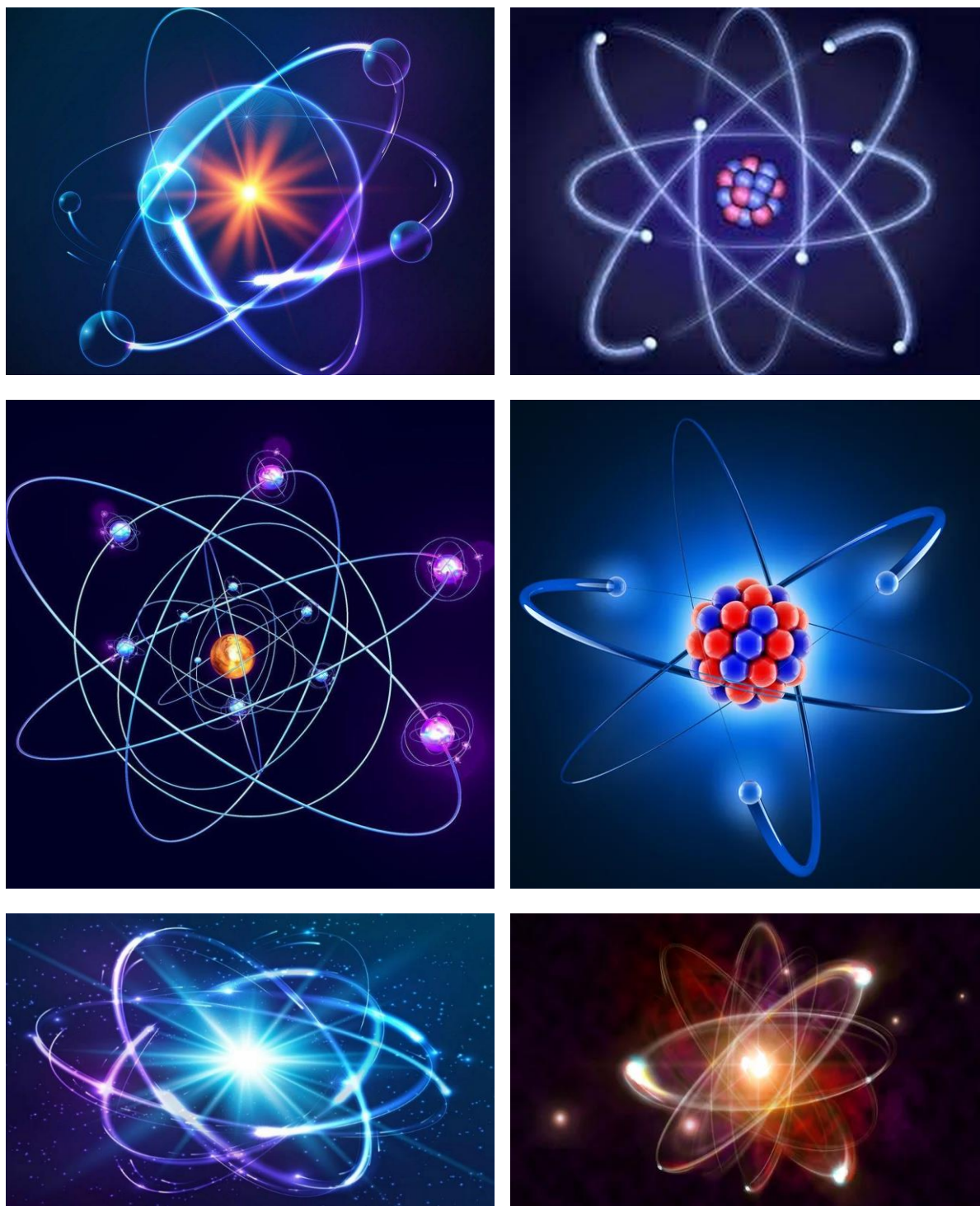


Рис. 1. Различные «изображения» «атома», найдены по запросу «изображение атома» в поисковике <https://www.google.com/>

В отношении этих иллюстраций следует сделать единственно правильное заключение: это фейк, это не наука, а иллюстрация на тему, близкую к весьма неточной, крайне далекой от истины околонучной популяризации. Нет никакой проблемы в том, что подобная наглядная интерпретация используется в образовательных целях «за неимением лучшего». Но проблема состоит в том, что, привыкая давать сначала неточные, затем

гипотетические, и, наконец, полностью фантастические иллюстрации, деятели и популяризаторы науки создают ошибочные представления в так называемом «общественном представлении» тех якобы научных фактов. Создается иллюзия того, что эти аспекты науки уже хорошо исследованы и сведения о них достоверные. Массовое представление о решении некоторых нерешенных задач создаёт превратное представление о фактическом

состоянии науки. Но каждый ученый, который в своей собственной области подобными искаженными представлениями не грешит, во всех остальных сферах, которые не являются сферами его профессиональной компетенции, вполне может грешить такими приближенными представлениями, что создаёт некоторую базу псевдонаучных представлений, не имеющих ничего общего с базой научных знаний. Однако, указанная база во многих случаях успешно подменяет базу научных знаний.

От каждого аспиранта требуется пополнение копилки мировых научных знаний, каждый профессор старается восполнить эту копилку не только собственными исследованиями, но и исследованиями своих учеников, даже в том случае, когда эти ученики отнюдь не блещут способностями добывания этих самым всеми желаемых новых научных сведений. Однако, имеется вполне легальный путь создания новых научных ценностей, а именно: совершенно не обязательно представить на суд научной общественности новые фактические знания, достаточно представить перечень публикаций. Вспомним А.С. Пушкина, который говорил: «Не продаётся вдохновение, но можно рукопись продать». Эту фразу можно перефразировать в свете сказанного приблизительно так: «Не продаются научные знания, но можно монетизировать научные публикации», добавив существенную оговорку о том, что научная публикация вовсе не обязана содержать новые знания, верифицированные каким-то методом, допускающим также и опровержение этих знаний, но не опровергнувших их, вследствие чего этим в действительности новым знаниям можно в той или иной степени доверять. Верифицированных научных гипотез мы в потоке диссертаций почти не встречаем, зато в каждой диссертации твердой основой и почти гарантией успешной защиты выступает перечень опубликованных научных работ, и чем больше в этом перечне статей в журналах, входящих в базы данных *Scopus*, *Web of Science*, или хотя бы в перечень ВАК, тем больше вероятность успешной защиты такой диссертации. Если подобных статей в кандидатской работе больше шести, или в докторской работе больше двадцати, тогда отрицательного результата защиты ожидать не приходится, это крайне маловероятный исход. При отсутствии таких статей для диссертации любого уровня успешная защита исключена: как минимум, должны быть статьи из перечня ВАК.

#### ЛУЧШЕ ОДИН РАЗ УВИДЕТЬ, ЧЕМ СТО РАЗ УСЛЫШАТЬ

«Чем больше времени зритель проводит перед телевизором, тем сильнее его восприятие мира приближается к образу реальности, который он видит на экране. Данный научный вывод

можно сформулировать в виде парадокса: каково телевидение, такова и жизнь».

Б. Дженингс, С. Томпсон [12], [1, с. 133]

«Не имея на руках реальных подробностей..., эксперты занялись тем, что на бытовом уровне именуется «гаданием на кофейной гуще» под девизом “Что бы это значило?”».

С. Ильченко [1, с. 285]

Именно потому, что психология человека так устроена, что он верит тому, что увидел собственными глазами, и не верит тому, о чем ему рассказали без демонстрации подкрепляющих изображений, технология, включающая иллюстративные материалы, а ещё лучше – видео изображения, позволяет убедить слушателя намного эффективней, чем сообщение без иллюстративных материалов. Докладчик в первую очередь должен добиться внимания публики. Не менее важное умение – это удерживать внимание слушателей. Если говорить о телевидении, то любая, даже самая привлекательная передача регулярно подвергается испытанию по критерию того, насколько она способна удерживать внимание зрителя даже с учетом существенного и длительного отвлечения внимания. У актеров это называется «держат паузу», то есть умение замолчать на острие монолога так, чтобы зрители, затаив дыхание, ожидали продолжения и при этом не отвлекались ни на что и ни на кого. Телевизионные передачи нарезаются на небольшие фрагменты, между которыми вставляются достаточно продолжительный, агрессивно навязчивый и раздражающий своей глупостью и многократными повторами рекламный блок. Ильченко справедливо отмечает: «Не стоит игнорировать и аудиторский фактор. Нынешний массовый телезритель в основном предпочитает визуальный канал восприятия информации. Об этом есть немало достоверных и качественных исследований».

Для средств массовой информации удержание внимания зрителя или читателя является насущной потребностью. С этой целью они эксплуатируют наиболее эффективный метод, состоящий в воздействии на самые сильные чувства человека. «Смех, жалость и ужас суть три струны нашего воображения, потрясаемые драматическим волшебством», писал А.С. Пушкин в статье «О народной драме и драме “Марфа Посадница”». К этому списку следует добавить гнев, надежду, удовлетворение чувства мстительности (ошибочно называемым чувством справедливости), зависть, любопытство, прикосновение к тайне с желанием её раскрыть и так далее. Прикосновение к тайне также содержит в качестве частного случая и ощущение нераскрытой тайны, что даёт волю фантазии и желание фантазировать на этот счет. По этой



причине распространены увлечения мистицизмом, крипто-зоологией (то есть представлением о том, что на Земле существуют ещё не открытые крупные виды животных, и даже чрезвычайно крупные, такие как чудовище озера Лох-Несс, гигантский кракен и т.п.). Именно по этой причине человечество трудно увлечь крипто-ботаникой, поскольку предположение о существовании неизвестных растений потрясет воображение не столь сильно, как предположение, например, о существовании неизвестного гигантского речного чудовища, оснащенного специфическими средствами атаки и поэтому способного съесть человека или даже крупного животного, далеко не беззащитного, например, тигра, льва, слона. Человечество фатально увлекается идеями о существовании в прошлом и настоящем реальных контактов с инопланетянами, об их вмешательстве в жизнь землян. Также предельно живучими оказываются убеждения о существовании снежного человека (бигфута, йетти, алмасты), русалок, человека-мотылька, гигантского змея, как сухопутного, так и морского, в сравнении с которым самая большая анаконда покажется мелкой. Самые стойкие суеверия связаны с потусторонним миром – привидениями, вампирами, мистическими местами и предметами. Большая часть населения Земли является верующими людьми, следовательно, большая часть населения Земли имеет, как минимум, ошибочное мировоззрение. На этом основании можно утверждать: большая часть населения заблуждается в самых главных вопросах в области естествознания. В мире существует более четырехсот только самых известных религий [13], численность последователей только трех самых распространенных религий составляет 70% населения, численность атеистов составляет по разным оценкам от 11% до 16% населения, то есть ни один вопрос о предпочтении атеизма религии не имеет шанса быть принятым в пользу атеизма путем голосования. Следовательно, все демократические страны имеют все основания вписать в свои конституции религию как основу нравственного обустройства общества. В этих условиях существование корректной науки в сфере естествознания весьма проблематично, особенно, с учетом того, что самые важные решения в науке, как мы указали выше, принимаются голосованием или его аналогом.

Все религии мира борются за свое распространение не менее упорно, чем насекомые борются за продление своего рода. Каждая религия имеет своих адептов, использующих визуальные формы агитации, в США даже появились и успешно действуют музыкальные сообщества, в которых отправлением религиозных ритуалов скорее напоминает вечеринку в клубе по интересам.

Издаются различные иллюстрированные религиозные книги для самых маленьких детей с названиями, как, например, «Моя первая Библия» или «Библия для самых маленьких», что ориентирует детей на религию ещё до того, как они вступают в возраст, когда могут хотя бы что-то критически осмыслить. Религиозной обрядностью дети охватываются с самого рождения. Надеяться на то, что религия в ближайшие столетия уступит свои завоевания, нет никаких оснований. Однако, логика заставляет вспомнить широко известный среди атеистов афоризм: «Все верующие считают, что 1999 религий ложные, а атеисты считают, что 2000 религий ложные, в этом вся разница между ними». Если бы какой-то человек утверждал, что окружающие его 1999 человек ошибаются, а не ошибается только он сам, его сочли бы сумасшедшим, или, по меньшей мере, человеком с неадекватным воспитанием или образованием. Если же представители одной из двух тысяч религий считают, что все остальные религии ложные, а их религия истинная, то таких представителей религии никто не считает сумасшедшими или неадекватными. Идеологи всех религий стали вынужденными смириться с существованием других религий не потому, что они, действительно, считают полезными или частично верными другие религии, а потому, что прекрасно понимают, что если религии будут бороться друг с другом, все они проиграют, поэтому они объединились против атеизма, отставив борьбу за преобладание собственной религии на более поздние времена, или вовсе отказавшись от такой борьбы.

Это непременно следует понимать для того, чтобы разобраться в проблеме о том, насколько религия проникла в науку. Прежде всего, религиозная психология, основой которой является тезис «большинство не может ошибаться» и «не мной придумано, значит, не мне это опровергать», «авторитетные люди не могут ошибаться», а также некоторые другие явно религиозные психологические подходы стала основой и психологии в науке. Серьёзных публикаций на тему критерием научности знаний в наше время почти нет, найти такие публикации крайне сложно. К таким публикациям достоверно не следует относить исследования Поппера или Эйнштейна, на которые ссылаются практически все авторы, пишущие в сфере критериев науки или методов научных исследований.

Таким образом, лица, принимающие решения в сфере науки, не имеют верифицированных критерием науки, или почти не принимают их к сведению, а руководствуются прежде всего, мнением большинства, и собственными впечатлениями от визуального ряда доклада, презентации, видеofilма, статьи. Чем лучше сделана презентация, тем больше шансов

положительной оценки она имеет. Поэтому технология PowerPoint является мощнейшим инструментарием убеждения всех инстанций в руководстве наукой. Равно технология проникновения в рейтинговые журналы, которая при ближайшем рассмотрении является всего лишь технологией эффективного использования финансов теми, кто добрался до их источника в тех целях, чтобы не потерять, а приумножить возможности дальнейшей подпитки из этих финансовых источников.

Таковы, в частности, нарастающие публикации о фантастических данностях астрофизики, физики элементарных частиц, теории относительности – в этой сфере доказательности нет никакой, ошибочность зачастую вопиет о себе, но игнорирование всех способов верификации просто потрясает. Любые формулы, которые можно вывести чисто математическим путем, принимаются за доказательства физических данностей, о которых нет никаких экспериментальных сведений. Данная фраза не распространяется на ту значительную часть науки в указанных сферах, которая, действительно, основана на корректно выполненных и корректно интерпретированных экспериментах. Мы не отрицаем методы визуального наблюдения астрономических объектов, методы регистрации с помощью различных приборов, от телескопа, до радиотелескопа, всё это относится к области несомненной экспериментальной науки. Но интерпретация закона Хаббла как доказательства разбегания вселенной, интерпретация опыта Майкельсона-Морли как доказательство справедливости теории относительности, и, как следствие, принятие различных парадоксов, как научные факты, принятие весьма гипотетических объектов, как «черные дыры», «белые дыры» и прочее как реальной физической данности, принятие теории многомерной вселенной, различных меж-пространственных и меж-временных порталов, космической таинственной энергетики, которая влияет на судьбы людей, утверждения о возможности перемещений во времени, о нарушении причинно-следственных связей, и многое другое в этом же духе – всё это не более научно, нежели астрология, разработка вечных двигателей, разработка устройств для связи с умершими и для якобы расшифровки потусторонних посланий, предложения об использовании инерциоидов для перемещения в космосе и так далее. Всё это напоминает рассказы одного местного «умельца», который пришел в редакцию и стал убеждать нас, что он придумал на основе простого двигателя постоянного тока устройство для кардинальной очистки воды от всех видов примесей, в котором за счет кавитации все примеси превращаются в световую энергию, то есть с помощью вращения

в центре этого вращения при обычных уровнях энергии он обеспечивает аннигиляцию всех атомов всех примесей, кроме атомов воды. Разговор, как понимают читатели, не сложился. Но некоторые столь же безосновательные заявления пробиваются до самого верха, авторы совершенно фейковых утверждений публикуют статьи, а далее на основании количества и «качества» этих публикаций они даже умудряются защищать диссертации [14, 15]. Под «качеством» в данном случае понимается только место опубликования этих статей и ничего, кроме этого. Нет необходимости сообщать, что в некоторых случаях опубликованию весьма способствует членство научного руководителя таких диссертантов в руководстве журналов, входящих в перечень ВАК, на уровне главного или технического редактора, а также членство в организационных комитетах конференций, организуемых организациями по месту их работы, что позволяет им публиковать в сборнике трудов самые низкопробные статьи, в которых не исправлены даже элементарные алгебраические ошибки [16], с последующим включением этих статей в рейтинговые базы данных.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ДАННОСТЕЙ НА ПРАВАХ СВЕДЕНИЙ О РЕАЛЬНОСТИ

«Развитие технических средств сбора, фиксации и распространения информации всех видов и типов, как и рождение новых технологий, привело к парадоксу, о котором в свое время высказался Ролан Барт. По его мнению, «здесь, несомненно, проявляется важнейший исторический парадокс: развитие техники, приводящее ко все более широкому распространению информации (в частности, изобразительной), создает все более новые и новые средства, которые позволяют смыслам, созданным человеком, принимать личину смыслов, созданных природой».

С. Ильченко, [1 с.144] со ссылкой на [17]

Обратимся ко второй части эпиграфа к данному разделу: «каково телевидение, таково и жизнь». В этой фразе заключено указание на то, что фейковая данность впоследствии влияет на реальную жизнь уже далеко не как фейк, а как настоящая реальность. Применительно к проблеме фейковой науки это следует понимать так, что за одной небольшой «натяжкой» в псевдонаучной публикации может следовать другая, и так по нарастающей закономерности из псевдонаучных утверждений можно нагородить целую ветвь науки или, точнее, псевдонауки. Подобно тому, как из отдельных хвощиков можно сложить большой муравейник, так и из отдельных не слишком существенных утверждений можно создать целую отрасль фейковой науки со своими адептами,

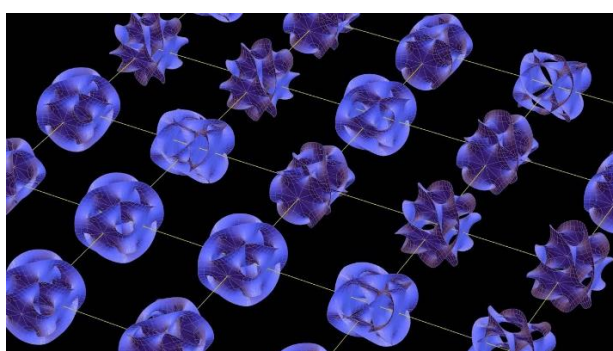
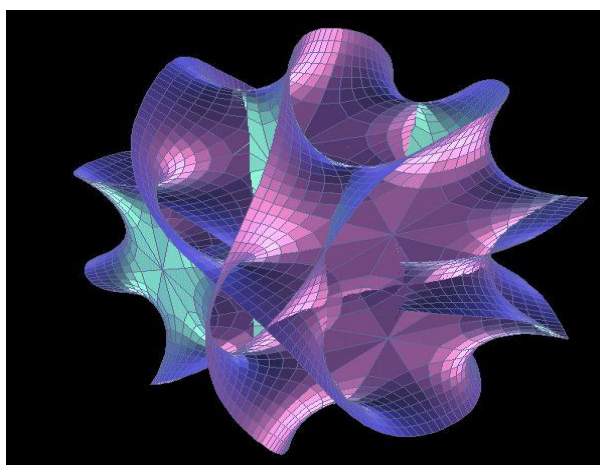
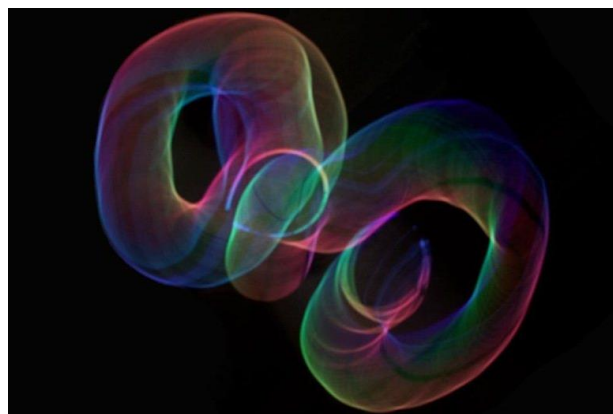


приспешниками, последователями, научной школой, и даже не одной, а нескольких. Если наши читатели будут задавать вопросы относительно этого утверждения, мы можем привести ряд конкретных примеров, сопровождаемых научно-обоснованными доказательствами фейковой сути содержания подобных серий публикаций, однако, размеры настоящей статьи не позволяют углубляться в эти подробности.

Добавим к этому только то, что пресловутая «теория струн» уже обросла столь красочными

иллюстрациями, что сомневаться в ней как-то стало уже неприлично, см. *Рис. 2*, *Рис. 3*.

Эти иллюстрации предлагают читателям те изображения, которых в действительности нет, и которые не соответствуют ничему, кроме в исключительных случаях графической иллюстрации некоторых математических функций, а чаще всего – просто фантазии художников, вдохновленных безосновательными идеями.



*Рис. 2.* Различные «изображения», найдены по запросу «теория струн» в поисковике <https://www.google.com/>

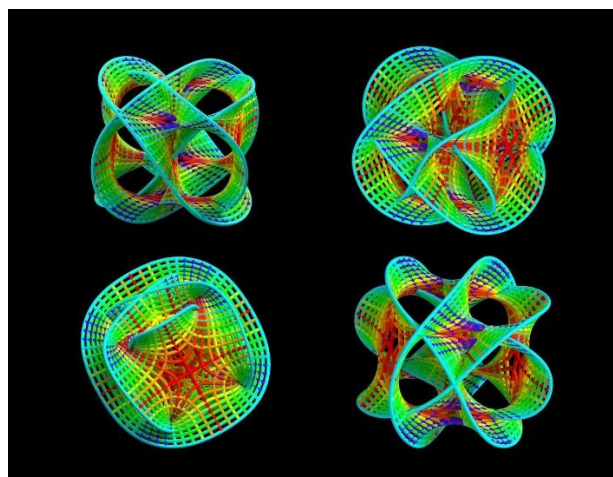


Рис. 3. Различные «изображения», найдены по запросу «теория струн» в поисковике <https://www.google.com/> (продолжение)

### РЕПУТАЦИЯ ЖУРНАЛА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РЕПУТАЦИИ СТАТЬИ

«Система неопровержимых доказательств, фактов, свидетельств с опорой на документы, чья аутентичность не вызывает сомнений, противопоставлена креативной моде, каковая находит воплощение в фейковой журналистике. Как справедливо отмечает Норберт Болц в книге «Азбука медиа», «масс-медиа сообщают не о том, что происходит, а о том, что другие считают важным. Они соотносятся в первую очередь не с миром, а с самим собой».

С. Ильченко [1, с. 151] со ссылкой на [18]

«Чем безумнее или недостовернее фейк, тем выше вероятность его распространения в медиасреде».

С. Ильченко [1, с. 297–298]

Информационные СМИ публикуют не ту информацию, которая больше соответствует истине, а ту, которая в большей степени соответствует интересам руководства этих СМИ. Это, по-видимому, в последние месяцы поняли уже очень многие читатели во всем мире: все мировые СМИ разделились на два лагеря, которые публикуют информацию из непересекающихся множеств источников сведений, при этом всё то, что публикуют СМИ из одного лагеря игнорируют или опровергают СМИ из другого лагеря, и это явление, по-видимому, взаимное.

Из этого факта нетрудно сделать по индукции также вывод и о том, что во множестве научных СМИ наблюдается аналогичное разделение, только лагерей не обязательно существует два, их может быть намного больше. Если СМИ, позиционирующие себя как приверженцы одной группы взглядов, охотно публикуют статьи, подкрепляющие эти взгляды, и категорически отстраняют публикации, вносящие хотя бы

какие-либо сомнения в относительно стройной концепции этой группы взглядов, в этом нет ничего удивительного и необъяснимого, это вполне естественно. Если в редакционной коллегии такого СМИ появится эксперт, имеющий альтернативные взгляды, от него избавятся, либо ему не будут предоставлять на рецензирование те статьи, по которым он мог бы принять решение, отклоняющееся от общей линии взглядов руководства данного СМИ. Кажущееся спокойствие и отсутствие конфликтов взглядов между разными журналами является лишь кажущимся.

Среди научных журналов можно выделить относительно всеядные журналы, которые принимают к опубликованию любые статьи, которые выглядят как научные, они озабочены только видимостью научности, а также вследствие развития средств проверки на плагиат они, разумеется, вынуждены проверять эти публикации на предмет заимствования из других источников. При этом наиболее лояльные журналы устанавливают достаточно высокий верхний уровень допустимого процента «совпадений», который иногда достигает 25–30%. Следовало бы установить нулевой уровень, но, к сожалению, большинство доступных средств проверки не делают детальной разницы между тем, что принято называть плагиатом и тем, что является обычным совпадением вследствие стандартной формы некоторых фраз, названий, вследствие совпадения библиографических ссылок и так далее. Следовало бы при проверке категорически исключать подобные совпадения, как и, например, ссылки на поддержку исследований каким-либо фондом, описание биографии авторов и так далее. Из нашего опыта статья, написанная полностью методом набивания текста пальцами по клавиатуре, за исключением, разумеется, биографии авторов и библиографических ссылок, за счет указанных



мест набрала более 20% совпадений по формальному признаку с уже имеющимися в интернете текстами. Существенная доля этого совпадения возникла вследствие именно совпадения биографий соавторов, взятых с их официальных сайтов, поскольку чисто текстовой информации в статье было не столь много. В этой ситуации ничего иного не оставалось, как перефразировать биографии соавторов, хотя эта деятельность совершенно не имеет смысла.

Таким образом, создалась удивительная ситуация. Если статья написана оригинальным авторским языком, то есть формальная проверка на заимствование даёт малый процент, такая статья имеет высокие шансы опубликования при условии, что выдвигаемые тезисы не идут вразрез с ключевыми взглядами редакционной группы. Для этого достаточно, чтобы статья не утверждала, по возможности, никаких революционных тезисов, не опровергала никаких основ, не занималась критикой ничего, но при этом содержала внешние признаки научности и новизны. Признаками научности являются уравнения, даже самые примитивные, если их достаточно много, и они связаны перекрестными ссылками. Другим признаком научности является наличие иллюстраций, что, как мы видели из текста всей данной статьи, является основным способом воздействия на читателей. Иллюстрации не должны производить впечатление слишком хороших художественных произведений, в отношении таких иллюстраций всегда возникает подозрение о том, что они заимствованы из сети интернет. Если можно согласиться, что иллюстрации выполнили сами авторы, к таким иллюстрациям у редакции будет больше доверия. Именно поэтому при отрисовке UML-диаграмм пользователи изображаются не с помощью высококачественных картинок человека, а с помощью предельно упрощенной карикатурной мнемограммы, на уровне широко известного детского стишка «палка, палка, огуречик, вот и вышел человечек». Некоторые студенты этого принципа не знают, поэтому в бакалаврских и магистерских диссертациях до сих пор встречаются порой иллюстрации, которые явно не могут быть результатом творчества этих студентов, и факт заимствования их из интернета очевиден любому опытному преподавателю. Журнальные рецензенты не всегда обращают внимание на это несоответствие, поскольку они допускают, что авторы журнальной статьи пригласили художника для формирования изображения, чего, как правило, не бывает.

Ещё один признак «научности» состоит в вставке фрагментов программ, или скриншотов из экранных форм работающих программ. Это должно убедить читателя в том, что авторы сами разработали какой-то новый программный продукт, что на практике имеет место далеко не

всегда. К этому примыкает наличие алгоритмов. Чаще всего авторы сами изображают алгоритмы, хотя бывают и исключения.

Еще один признак «научности» характерен для филологических статей. В них зачастую используется такой язык, которым в быту никто никогда не говорит, этот язык называют иногда «птичьим». По роду деятельности в качестве эксперта нам довелось читать множество проектов и статей в сфере филологии. Мы нашли в них признаки таких отклонений, как гиперграфия, логорея, резонёрство, конфабуляция, неологизм, парамнезия, персеверация. Наиболее часто встречается использование как можно более сложных предложений, фраз, терминов, что затрудняет понимание текста. Один из методов анализа подобного текста является перевод его на простой русский язык, после чего становится понятным отсутствие новизны и научности в предложенных формулировках «новых научных достижений» или «новых направлений исследований».

Например, рассмотрим аннотацию к произведению, находящемуся в открытом доступе [19]. Возьмем для примера второе предложение из аннотации: «В последнее время система образования претерпевает большие изменения в плане организации учебного процесса». Попробуем разобраться, что в данной фразе содержательного. Сказано, что система образования изменяет организацию учебного процесса. Почему сказано «в последнее время»? Неужели только в последнее время образование стало изменяться? Раньше оно не изменялось? Почему сказано «претерпевает большие изменения», вместо простого «изменяется»? Для чего нужно слово «плане», разве если оставить «в организации учебного процесса», то смысл фразы изменится? Возьмем следующее предложение: «Это вызвано в первую очередь глобальными процессами цифровизации, а также вынужденным переходом на дистанционную или смешанную формы работы в условиях пандемии». Глобальные процессы цифровизации – это какая-то мифическая данность. На каждом рабочем месте работники применяют средства автоматизации по мере возможности. С момента широкого распространения появления компьютеров, создания глобальной сети интернет и глобальных спутниковых систем, ничего более глобального не произошло. Но эти процессы произошли не в последнее время, а полтора десятка лет тому назад, как минимум. Возможности использования компьютеров для создание демонстрационных материалов появились не вдруг, и они давно и широко используются в педагогике. Дистанционная форма также возникла не вчера, онлайн-лекции, также лекции, записанные заранее в виде видео, также появились не вчера. Программа

PowerPoint предоставляет возможности записать звук и сохранить презентацию в виде «показ презентации», в этом случае время демонстрации будет задано темпами прокрутки её при записи, и будет также воспроизводиться записанный звук. Эта технология существует уже достаточно давно, писать о ней в 2021 году как о новой, пожалуй, поздно. Соединение двух тривиальных технологий даёт основание использовать термин «гибридное образование», который в этом значении также уже далеко не нов. Понятие «смешанная форма» является полным синонимом в данном случае. Читаем дальше: «В статье авторы предлагают использовать термин гибридная форма работы, поскольку термины очная форма работы, заочная форма работы, дистанционная форма работы не отражают всей сути работы в преподавании иностранного языка». Наверное, авторам кажется, что они ввели этот термин в этом значении впервые, однако они серьёзно ошибаются. В проекте «SmartCity» этот термин уже использовался как далеко не новый, данный проект начался в 2018 году, и уже при написании этого проекта авторам и в голову не пришло бы, что термин «гибридное образовательное пространство» или «гибридное обучение» может претендовать на новизну [20]. Как же можно в таких условиях в аннотации писать, что авторы предлагают использовать этот термин? Заявка на новизну с явным игнорированием того важного факта, что новизны здесь нет ни капли. Да и какая может быть новизна в ведении нового термина? Всего лишь очередное проявление логореи. Читаем далее: «Актуальность использования гибридной формы обучения определяется самой преподаваемой дисциплиной - иностранный язык, поскольку сформировать необходимые навыки и компетенции невозможно только в рамках аудиторных часов». Следует предположить, что авторы этой статьи не осведомлены о том, что лингафонные курсы иностранных языков возникли задолго до появления не только интернета и компьютеров, но даже, по-видимому, и до широкого распространения магнитофонов. В школьные годы автор этой статьи обладал лингафонным курсом английского языка на пяти пластинках. Безусловно, с появлением вычислительной техники и возможности записи аудиофайлов и видеофайлов, эти возможности стали использоваться все более широко. Допустимо ли предлагать использование гибридных методов для обучения иностранному языку в этой ситуации в наше время, то есть в 2021 году? Вероятно, аналогично можно предложить использование электрических чайников для кипячения воды или использование шуруповёртов для закручивания шурупов. Далее следует ещё более странная фраза. Вопреки

признанию «Преподаватель иностранного языка всегда применял смешанный тип работы», авторы далее пишут: «Показаны преимущества применения гибридной формы в образовательном процессе в целом и в обучении иностранным языкам, в частности». Хочется воскликнуть: «Серьёзно?!». И, наконец, последняя фраза аннотации окончательно убеждает в том, что читать данную статью не следует, ибо читаем: «В заключении авторы указывают на необходимость использования такой формы работы при обучении иностранным языкам». То есть если бы этой статьи не было, мы бы сомневались в необходимости применения современных технологий, мы бы не догадались, что только общение преподавателя с учениками и только чтение ими учебника – не самый лучший способ преподавания иностранных языков. Отметим, что авторы данной статьи ничего плохого нам не сделали и мы не собираемся доказывать, что статья не содержит научной новизны. Если для представителей гуманитарных наук подобные статьи представляют ценность, это их личное дело, или их личные проблемы, мы к этому не имеем никакого отношения. Данный пример мы нашли «в два клика» в интернете, такие примеры наши читатели могут отыскать во множестве. Мы лишь хотели продемонстрировать, что при наличии большого желания написать статью, совершенно не обязательно иметь новые научные результаты. Достаточно написать какое-то обобщение, мнение, или просто констатацию широко известных сведений, надо лишь применять витиеватые фразы, желательно придумать какие-то иллюстрации, а также надо найти достаточно непритязательный журнал, который согласится результат такого творчества опубликовать. Один из общедоступных способов создания околонучных иллюстраций – всё те же UML-диаграммы, графы, нейронные сети и тому подобное. Достаточно нарисовать несколько рядов кружочков, соединить их стрелочками, обозначить кружочки и стрелочки буквами или цифрами, и вот уже вполне научные иллюстрации. Дальше можно описывать, как это должно работать в рамках понимания авторов. Мы не против иллюстраций в указанных формах, иногда они необходимы, и иногда они, действительно, несут полезную информацию. Но нарисовать подобные иллюстрации, даже не будучи программистом, и дать им какое-то словесное описание – это работа, доступная любому студенту с уровнем понимания предмета чуть выше удовлетворительного. В свое время Маркс использовал формулу «деньги – товар – деньги-штрих», а также «товар – деньги – товар-штрих». Введя буквенные обозначения, он получил возможность написать аналитические формулы. С этого времени книги и статьи по экономике стали широко использовать

математический аппарат математики и статистики для создания «научных» публикаций. Помогают ли эти публикации реальной экономике, мы не знаем и не беремся решать этот вопрос. Во всяком случае, если существует наука «Религиоведение», то почему бы не существовать науке «Экономика»? И философия уже не та, философы питаются не сведениями о фактическом мироздании, а статьями по философии, нагромождая хаос терминологии, нужный только им и никому кроме них, философов же. Вот так, «хвоинка за хвоинкой», создается «муравейник» научной школы или конкретных научных достижений данного коллектива или отдельной персоналии. Когда-то философия была царицей наук, ничуть не менее важной, чем математика, и даже, вероятно, более важной. Но это было давно. Сейчас философия обслуживает только самоё себя. Один достойный доктор наук на одном достойном ученом совете обратился к достойному председателю, являющемуся и руководителем организации, с любопытной просьбой, суть которой состояла в том, чтобы организация оплатила доступ к электронной библиотеке зарубежных журналов по философии, дабы данный доктор наук и его ученики могли бы писать новые статьи по философии, которые бы входили в интересующие всех научные базы данных с высшими рейтингами. Вот так легко была вскрыта перед всеми методика создания новых научных статей, что приравнивается к новым научным результатам, а именно: надо прочитать побольше журнальных статей в этой области, и на этой основе написать что-то «своё». Насколько оно будет своим, судите сами. В интернете можно найти множество рекомендаций о том, как написать высокорейтинговую статью.

#### ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В НАУКЕ И ЕСТЬ РЕАЛЬНОСТЬ

«Масс-медиа осуществляют для нас предварительный отбор того, что есть. Они делают то, что социологи называют абсорбцией неуверенности, производя тем самым факты, факты, факты. Можно заключить, что масс-медиа – это индустрия реальности современных обществ, и нередко изображение в масс-медиа и есть то самое событие, о котором сообщают масс-медиа».

Н. Болц [1, с.153–154] со ссылкой на [18]

Обратимся вновь к замечательной книге С. Ильченко, который разоблачает ситуацию о том, как виртуальная реальность в информационной среде начинает выполнять функции реальности, а реальность утрачивает свое значение, становится как-бы несуществующей, виртуальной, то есть эти понятия начинают постепенно смешиваться и подменять друг друга. Действительно, информацией уже

становится не событие, а высказывание того или иного медийного лица о каких-то событиях, а иногда и само событие не требуется, достаточно лишь высказывания. Не то ли же самое мы наблюдаем, когда научные журналы согласны публиковать так называемые «научные обзоры»? Что представляет собой научный обзор, как не высказывание какого-то лица или группы лиц о тех публикациях, которые уже состоялись? Мы, читатели, так не любим читать первоисточники, что предпочитаем, чтобы кто-то другой прочитал их вместо нас, после чего кратко пересказал нам их суть и содержание? Может быть нам тогда не следует ходить в кино, пусть кто-то другой сходит вместо нас и нам перескажет содержание? Не надо читать книги, пусть кто-то перескажет нам содержание этих книг? Вспоминается анекдот о том, что некто говорит, что не нравится ему, как поёт Карузо, поскольку он слова не помнит, в ноты и в ритм не попадает, заикается и картавит, да и голос у него совершенно тусклый. Его собеседник удивляется: «Вы слышали его пение и вам не понравилось!?!», на что указанный персонаж заявляет: «Я-то лично сам не слышал, но мой сосед ходил на спектакль и потом напел мне несколько арий». Ну да, если мы будем судить об ариях Карузо по тому, как нам их напел сосед, мы понимаем, что наше суждение может оказаться ошибочным. Но почему тогда мы должны судить о развитии науки по обзорным статьям? И почему тогда обзорные статьи очень многими журналами называются наиболее важными, наиболее ценными статьями? Ответ прост: большинство читателей предпочитает знакомиться со вторичной «полупереваренной» научной пищей, подобно птенцам пингвинов, которых родители откармливают своей отрыжкой. Не надо расходовать энергию на переваривание, это оправдано в условиях антарктического холода. Молодые ученые тоже стали очень «энергосберегающими», они предпочитают писать обзорные статьи (что вмещается им при обучении в аспирантуре) путем использования чужих обзорных статей. Если у них достаточно порядочности, чтобы сослаться на эти обзорные статьи (что далеко не всегда имеет место), то в итоге обзорные статьи неплохо цитируются, а журналам только это и надо. Обзорные статьи не содействуют развитию науки практически никак. Но они содействуют цитированию журнала, то есть содействуют повышению значимости журналов. Это – процесс неоправданного роста рейтинга некоторых журналов по сравнению с другими. Хорошо ли это? Делайте выводы. Фридрих Ницше сказал: «Факты не существуют, есть только интерпретации» [1, с.154]. Факты, конечно, существуют, но они не существенны, когда интерпретация фактов для читателей важнее. Это происходит в некоторых естественных науках, например, интерпретация



явления, известного как «Закон Хаббла», для астрофизиков важнее фактов, в особенности – важнее фактов, который противоречат этой интерпретации и тем самым её опровергают [21, с. 50–51].

### ЧТО ДЕЛАТЬ?

«Лучшее средство для промывки мозгов – правда»

Лили Томлин [1, с.303]

Если у меня другое мнение, это не значит, что я ваш враг или идиот. Это просто значит, что у меня другое мнение.

Эдвард Радзинский<sup>2</sup>

Ильченко предлагает ряд мер против фейков, которые мы изложим не дословно, а применительно к анализу научных и псевдонаучных публикаций. Он предлагает семь простых правил [1].

Правило 1. Поиск первоисточника информации, либо нескольких альтернативных независимых источников информации (правило Бернштейна-Вудворда).

Правило 2. Умейте отличать комментарий от информации.

Правило 3. Необходимо узнать мнение противоположной стороны, а может быть, и получить от неё альтернативную информацию.

Правило 4. Внимательно читайте, смотрите и слушайте. Ищите ошибки, неточности, опечатки и т.п.

Правило 5. Не принимайте информацию за чистую монету: публикация может быть изначально задумана как фейк, мистификация, розыгрыш. Подумайте, прежде чем в неё поверить. Применительно к научным статьям – публикация может быть задумана просто ради того, чтобы она состоялась, для повышения публикационной активности автора. Обязательно следует усомниться в авторстве, поскольку случаи плагиата при подаче научных статей неуклонно растут, несмотря на повсеместное использование все усовершенствующихся средств проверки текстов на заимствование.

Правило 6. Точность важнее скорости. Не торопитесь выносить суждение, вы можете дожидаться сведений, опровергающих сообщенную вам информацию. Для научных публикаций это правило не действует, поскольку уважающие себя журналы имеют нормативы рецензирования статей, а для научных конференций сроки рассмотрения статей диктуются календарным планом, который нарушать нельзя.

Правило 7. Не верьте интернету и всем сетям мира, особенно, если информация, которая в них размещена, не имеет прямых цитат. Это правило

для научных статей трансформируется в понимание того, что, во-первых, в мире существуют журналы, публикующие непроверенную информацию, во-вторых, научную информацию вообще нельзя проверить достаточно достоверно, поскольку для этого необходимо выполнить такое же в точности исследование, затратив столько же денег и времени, в-третьих, существуют источники, которым верить нельзя вообще, в-четвертых, страницы из интернета вообще подчас не являются источниками, это иногда просто рекламный инструмент фирм, в-пятых, некоторые ресурсы, такие как Википедия, научными источниками не являются, ими можно воспользоваться для получения справки о так называемых общеизвестных фактах, но полагать их безусловно достоверными и научными источниками не следует, поскольку эти ресурсы заполняются статьями, написанными отдельными энтузиастами, не несущими, по-видимому, серьезной ответственности за преднамеренные или случайные ошибки. Не всё, что попало в Википедию, заслуживает широчайшего опубликования, и не всё, что заслуживает широчайшего опубликования, попадает в Википедию. Использовать этот ресурс вполне можно, и данная статья также его использует, но полагаться на него как на безусловный источник сведений в некоторых случаях мы не рекомендуем.

К этим правилам мы бы добавили несколько собственных.

Правило 8. Авторитетность для истины в науке не имеет никакого значения.

Правило 9. В науке большинство может ошибаться, и, как правило, делает именно это, в особенности, на начальной стадии создания любой науки или на начальной стадии формирования новых научных знаний, переосмысление ранее устоявшихся знаний, исправления ошибок и ошибочных направлений.

Правило 10. Где бы ни были опубликованы материалы статьи, это ничего не доказывает, и ничего не опровергает.

Правило 11. Журнал не обязан осуществлять цензуру в научных публикациях. Если для установления истины требуется ознакомление с альтернативными точками зрения, следовательно, журнал, стремящийся к содействию отысканию истины, вполне может иметь своей этической политикой стремление опубликовать статьи, излагающие альтернативные точки зрения и предлагающие альтернативную аргументацию, поскольку для правильной оценки требуется знать все точки зрения и всю аргументацию полностью, см. Правило 1.

<sup>2</sup> <https://socratify.net/quotes/sluzhebnyi-roman/49217>

#### ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ: ПАРАЛЛЕЛИ

Ситуация с виртуальной наукой очень сильно напоминает ситуацию с виртуальной культурой.

Мы полагаем, что художественная ценность некоторых так называемых «шедевров» мягко говоря сильно преувеличена. Налицо также имела место монополия элитного клуба на истину, сомнения и возражения не принимаются. Ситуация, аналогичная ситуации с корчевателем [5], имела место и в сфере изобразительного «искусства», причем взятие в кавычки слова «искусство» не случайно.

В истории критики в этой сфере имеется две постыдные страницы, связанные с художниками Пьером Брассо и Иоахимом-Рафаэлем Боронали. Нам представляется, что некоторые «научные статьи» и даже «диссертации» заставляют припомнить историю двух этих художников, достаточно знаменитых для того, чтобы их имена были увековечены в Википедии.

На трех следующих рисунках показаны три картины трех знаменитых художников-авангардистов. Рис. 4 демонстрирует картину Иоахима-Рафаэля Боронали.



Рис. 4. Пример живописи художника Иоахима-Рафаэля Боронали [23]



Рис. 5. Пример живописи художника Казимира Малевича [23]

Нам почему-то кажется, что далеко не все картины Малевича представляют собой шедевры изобразительного искусства. Наиболее сомнительным видится картина «Большой

черный квадрат», приводить иллюстрацию этой картины нам кажется абсолютно бессмысленным занятием. Для логики изложения мы приведем также портрет всех этих художников. Для начала, портрет Казимира Малевича показан на Рис. 7 [26].



Рис. 6. Пример живописи художника Пьера Брассо [25]

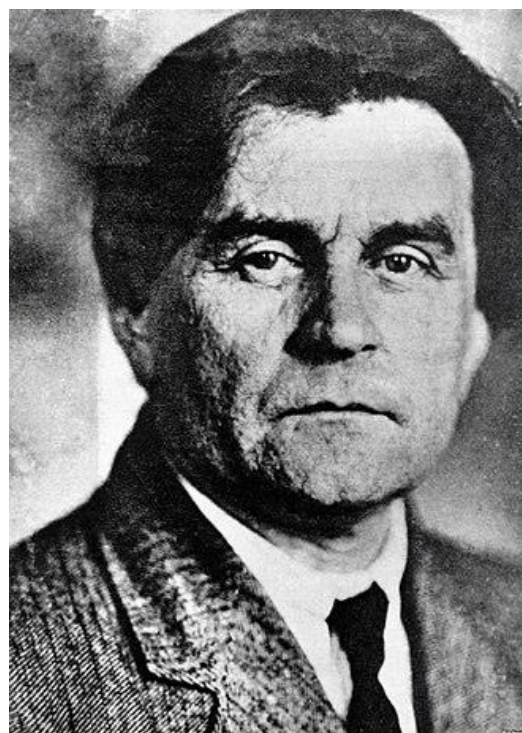


Рис. 7. Портрет художника Казимира Малевича [26]

Мы полагаем, что нам не следует выдвигать собственное мнение в отношении произведений изобразительного искусства вследствие недостаточного авторитета у нас в этой сфере, точнее – вследствие полного отсутствия авторитета в этой области. Однако мы можем предложить нашим читателям составить собственное суждение о понятии «авторитет» в области абстрактного изобразительного искусства. Авторитетные ценители весьма



высоко оценили картины, нарисованные в разное время Пьером Брассо и Иоахимом-Рафаэлем Боронали. Для полноты описания мы приведем также портреты этих художников. На *Рис. 8* показан портрет художника Пьера Брассо за работой [27]. На *Рис. 9* показан портрет художника Иоахима-Рафаэля Боронали за работой [27].



*Рис. 8.* Портрет художника Пьера Брассо за работой [27]



*Рис. 9.* Портрет художника Иоахима-Рафаэля Боронали за работой [27]

«Картины», нарисованные шимпанзе и ослом различные искусствоведы оценили чрезвычайно высоко, они вложили в описание восторга в отношении смелости линий, чувственности изумленной цветовой гаммы и так далее [23], [25], [27], [28].

Любопытно, что некоторые картины художника из зоопарка были куплены за весьма большую цену, застрахованы и размещены в частной коллекции [25]. Подобный казус ничуть не обескуражил искусствоведов. Со времен двух фейков, когда шутники решили посмеяться над искусствоведами, мир изменился. Сегодня «картины», нарисованные животными, продаются за суммы, достигающие 12 тыс. долларов США [29]. Среди художников уже имеются слоны, дельфины, собаки, лошади, черепахи, носороги, свиньи, муравьеды и многие другие животные [29], [30].

Проблему, которую мы затрагиваем в данном разделе нашей статьи мы бы назвали «**Некритичное восприятие**». Эта проблема, на наш взгляд, имеет место и в восприятии

новостей, и в восприятии «произведений искусства» и, к огромному сожалению, в восприятии «научных» статей. При рецензировании и при чтении научных статей, при оценке диссертаций, заявок на финансирование научных проектов, мы рекомендуем держать в голове портреты «гениальных» художников-авангардистов Пьера Брассо и Иоахима-Рафаэля Боронали, мы просто просим наших читателей ещё раз внимательно взглянуть на эти одухотворенные лица творческих натур (см. *Рис. 10* и *Рис. 11*).



*Рис. 10.* Иоахим-Рафаэль Боронали [27]



*Рис. 11.* Пьер Брассо за размышляет над новым шедевром

Также мы предлагаем вспомнить о том, что впоследствии подобные художественные шедевры стали творить и люди, но используя для этих целей отнюдь не кисти, а совершенно неожиданные части своего организма [32]. Нисколько не отрицая, что, вероятно, картины можно творить таким путем, но мы бы хотели верить, что научные статьи пишутся, как правило, руками, а не теми частями тела, о которых сообщает публикация [32], и, разумеется, с использованием головы как основного инструмента научного творчества, если же голова, мозг и его основное свойство – критическое мышление – не используется, мы бы поостереглись называть результаты такого творчества научными.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ильченко С., Пучков, Д. Г. Как нас обманывают СМИ. Манипуляция информацией. Предисловие Дмитрий Goblin Пучков – СПб: Питер, 2019. – 320 с. – (Серия «РАЗВЕДОПРОС»). ISBN 978-5-4461-0989-0.
- [2] Шелленберг, В. В паутине СД. Мемуары.
- [3] Лайнбарджер П. Психологическая война: Теория и практика обработки массового сознания. – М., 2013. С. 178.
- [4] Больц Н. Азбука медиа. – М.: Европа. 2011. С. 17.
- [5] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Корчеватель\\_\(статья\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Корчеватель_(статья))
- [6] <https://ru.wikiquote.org/wiki/Факт>
- [7] М. В. Ломоносов открыл атмосферу Венеры. <https://peterburg.center/content/m-v-lomonosov-otkryl-atmosferu-venery.html>
- [8] Как М. В. Ломоносов открыл атмосферу Венеры. <https://festivalnauki.ru/media/articles/interesno-o-nauke/kak-m-v-lomonosov-otkryl-atmosferu-venery/>
- [9] Бурдые П. О телевидении и журналистике. – М., 2002. С. 55.
- [10] Шопенгауэр Артур. Эристика, или Искусство побеждать в спорах. [http://az.lib.ru/s/shopengauer\\_a/text\\_1831\\_eristische\\_dialektik.shtml](http://az.lib.ru/s/shopengauer_a/text_1831_eristische_dialektik.shtml)
- [11] Нейсбит Д. Старт, или Настраиваем ум! Перестрой мышление и загляни в будущее. – М. 2009. С.179.
- [12] Дженингс Б., Томпсон С. Основы воздействия СМИ. – М., 2004. С. 199–130.
- [13] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_религий](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_религий)
- [14] В.А. Жмудь. Недопустимые расширения защищаемых положений в сфере автоматки: об управлении объектами с неквадратными передаточными функциями. Автоматика и программная инженерия. 2021. 1 (39). С. 129–142. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-1-2022-11.pdf>
- [15] В.А. Жмудь. О проектировании многоканальных систем автоматического управления. Автоматика и программная инженерия. 2021. №3 (37). С. 90–107. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2021-9.pdf>
- [16] В.А. Жмудь. Мусорные публикации-клоны и их вредное влияние на науку и образование. Автоматика и программная инженерия. 2019. №2 (8). С. 133–149. [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-2-2019-14\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-2-2019-14_0.pdf)
- [17] Барт Р. Третий смысл. – М.: Ад Маргинем Пресс, 2015. С. 49.
- [18] Больц Н. Азбука медиа. – М.: Европа. 2011. С. 36.
- [19] О.Н. Балашкина, Н.В. Максимова, С.С. Луц. Преимущества гибридной формы обучения в преподавании иностранных языков. Baikal Research Journal. 2021. Т. 12. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-gibridnoy-formy-obucheniya-v-prepodavanii-inostrannyh-yazykov>
- [20] О.Н. Долинина, В.А. Жмудь, Л.В. Димитров. Международная программа двойных магистерских дипломов по направлениям Умный город и Интернет вещей. Автоматика и программная инженерия. 2018. №4 (26). С. 120–130. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2018-12.pdf>
- [21] В.А. Жмудь. Методы опровержения ложной теории. Автоматика и программная инженерия. 2021. №4 (38). С. 36–54. [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2021-3\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2021-3_0.pdf)
- [22] Соловей В.Д. Абсолютное оружие. Основы психологической войны и медиаманипулирования. – М.: Э. 2015. С. 89.
- [23] <https://kulturologia.ru/blogs/311021/51570/>
- [24] <http://www.m-necropol.ru/malevich-kazimir.html>
- [25] [https://ru.wikipedia.org/Пьер\\_Брассо](https://ru.wikipedia.org/Пьер_Брассо)
- [26] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Малевич\\_Казимир\\_Северинович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Малевич_Казимир_Северинович)
- [27] <https://kulturologia.ru/blogs/170717/35294/>
- [28] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бороналли>
- [29] <https://teleprogramma.pro/style/sudd/74582>
- [30] <https://ianimal.ru/topics/zhitovnye-khudozhniki>
- [31] <https://animalworld.com.ua/news/Imenityje-zhitovnyje-khudozhniki>
- [32] <https://www.viktoria-latka.com/esli-ne-kist-to-cto-zhe-grudyu-yagodicami-i-drugimi-chastyami-tela/>



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

E-mail: [oa0\\_nips@bk.ru](mailto:oa0_nips@bk.ru)

Статья поступила 08.06.2022.

## Virtual Science

V.A. Zhmud

Novosibirsk Institute of Program Systems, Russia

Institute of Laser Physics SB RAS, Russia

Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the RAS

**Abstract:** The paper discusses a huge stream of low-quality publications that form a virtual scientific quasi-reality, which may not have anything to do with science as such. Using the method of analyzing the problem of fakes in the media, performed in the publication of S. Ilchenko, the article approaches the task of analyzing the flow of scientific and not quite scientific publications with the same criteria and with the same reasoning methods. The article is intended for graduate students (doctoral students) studying the subjects "Academic Writing" and "Research Methods".

**Key words:** science, publications, citation, expertise, fake, pseudoscience, pseudoscience, virtual reality.

### REFERENCES

- [1] Il'chenko S., Puchkov, D. G. Kak nas obmanyvayut SMI. Manipulyatsiya informatsiyey. Predisloviye Dmitriy Goblin Puchkov – SPb: Piter, 2019. – 320 s. – (Seriya «RAZVEDOPROS»). ISBN 978-5-4461-0989-0.
- [2] Shellenberg, V. V pautine SD. Memuary.
- [3] Laynbardzher P. Psikhologicheskaya voyna: Teoriya i praktika obrabotki massovogo soznaniya. – M., 2013. S. 178.
- [4] Bol'ts N. Azbuka media. – M.: Yevropa. 2011. S. 17.
- [5] [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C\\_\(%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_(%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F))
- [6] <https://ru.wikiquote.org/wiki/Fakt>
- [7] M. V. Lomonosov otkryl atmosferu Venery. <https://peterburg.center/content/m-v-lomonosov-otkryl-atmosferu-venery.html>
- [8] Kak M. V. Lomonosov otkryl atmosferu Venery. <https://festivalnauki.ru/media/articles/interesno-o-nauke/kak-m-v-lomonosov-otkryl-atmosferu-venery/>
- [9] Burd'ye P. O televidenii i zhurnalistike. – M., 2002. S. 55.
- [10] Shopengauer Artur. Eristika, ili Iskusstvo pobezhdat' v sporakh. [http://az.lib.ru/s/shopengauer\\_a/text\\_1831\\_eristische\\_dialektik.shtml](http://az.lib.ru/s/shopengauer_a/text_1831_eristische_dialektik.shtml)
- [11] Neysbit D. Start, ili Nastraivayem um! Perestroy myshleniye i zaglyani v budushcheye. – M. 2009. S.179.
- [12] Dzhening B., Tompson S. Osnovy vozdeystviya SMI. – M., 2004. S. 199–130.
- [13] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Spisok\\_religiy](https://ru.wikipedia.org/wiki/Spisok_religiy)
- [14] V.A. Zhmud. Nedopustimyye rasshireniya zashchishchayemykh polozheniy v sfere avtomatiki: ob upravlenii ob'yektami s nekvadratnymi peredatochnymi funktsiyami. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2021. 1 (39). S. 129–142. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-1-2022-11.pdf>
- [15] V.A. Zhmud. O proyektirovani mnogokanal'nykh sistem avtomaticheskogo upravleniya. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2021. №3 (37). S. 90–107. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2021-9.pdf>
- [16] V.A. Zhmud. Musornyye publikatsii-klony i ikh vrednoye vliyaniye na nauku i obrazovaniye. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2019. №2 (8). S. 133–149.
- [17] Bart R. Tretiy smysl. – M.: Ad Marginem Press, 2015. S. 49.
- [18] Bol'ts N. Azbuka media. – M.: Yevropa. 2011. S. 36.
- [19] O.N. Balashkina, N.V. Maksimova, S.S. Luts. Preimushchestva gibridnoy formy obucheniya v prepodavanii inostrannykh yazykov. Baikal Research Journal. 2021. T. 12. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/preimushchestva-gibridnoy-formy-obucheniya-v-prepodavanii-inostrannykh-yazykov>
- [20] O.N. Dolinina, V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov. Mezhdunarodnaya programma dvoynnykh masterskikh diplomov po napravleniyam Umnyy gorod i Internet veshchey. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2018. №4 (26). S. 120–130. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2018-12.pdf>
- [21] V.A. Zhmud. Metody oproverzheniya lozhnoy teorii. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2021. №4 (38). S. 36–54. [http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2021-3\\_0.pdf](http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2021-3_0.pdf)
- [22] Solovey V.D. Absolyutnoye oruzhiye. Osnovy psikhologicheskoy voyny i mediamanipulirovaniya. – M.: E. 2015. S. 89.
- [23] <https://kulturologia.ru/blogs/311021/51570/>
- [24] <http://www.m-necropol.ru/malevich-kazimir.html>
- [25] [https://ru.wikipedia.org/Пьер\\_Брассо](https://ru.wikipedia.org/Пьер_Брассо)
- [26] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Малевич\\_Казимир\\_Северинович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Малевич_Казимир_Северинович)
- [27] <https://kulturologia.ru/blogs/170717/35294/>
- [28] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бороналли>
- [29] <https://teleprogramma.pro/style/sudd/74582>
- [30] <https://ianimal.ru/topics/zhivotnye-khudozhniki>
- [31] <https://animalworld.com.ua/news/Imenitnye-zhivotnye-khudozhniki>
- [32] <https://www.viktoria-latka.com/esli-ne-kist-to-cto-zhe-grudyu-vagodicami-i-drugimi-chastvami-tela/>



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS. E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

The paper has been received on 08/06/2022.



## О возможных причинах некорректного моделирования замкнутых динамических систем

В.А. Жмудь<sup>1,2,3</sup>, А.В. Ляпидевский<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН, Россия

<sup>3</sup>Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН

Аннотация. Иногда при моделировании замкнутых систем автоматического управления исследователи допускают ошибки, и в этом случае результатам моделирования нельзя доверять. Это может не проявиться никак. Одна из причин того, что ошибки моделирования не будут выявлены, может состоять в том, что статья не вызвала ничей интерес, даже сами авторы не предполагают использование её результатов. Такое, к сожалению, случается, когда статья пишется только ради факта публикации. В этом случае для моделирования используются придуманные объекты, с моделями, не соответствующими никакому реальному объекту. Никто и не собирается проверять на практике работоспособность рассчитанных регуляторов. Другая причина, возможно, состоит в излишне идеальном моделировании, которое не делает разницы между реально возможным моделированием работы системы, использующей преобразование сигналов, и чисто математическими операциями, использующими не определение оценок производных по их сигналам, а идеальные производные от сигналов на основе знания о математической модели используемых сигналов. Нельзя исключить, что в некоторых случаях причинами ошибок является недостаточная компетентность авторов. В любом случае, полезно разбираться с подобными примерами недостаточно тщательного моделирования и опубликования статей, утверждающих о достижениях, которых фактически исследователи не получили. В одной статье, безусловно, невозможно разобрать даже в деталях со всеми ошибочными публикациями даже в одной очень узкой области, однако даже отдельные примеры могут послужить восстановлению научного подхода. Данная статья осуществляет разбор некоторых характерных ошибок при моделировании замкнутых динамических систем и при проектировании регулятора для них. Статья может оказаться полезной не только для студентов и аспирантов, но и для некоторых преподавателей по предмету «Теория автоматического управления» по курсу «Управление в технических системах».

Ключевые слова: ПИД-регулятор, нелинейный объект, моделирование, оптимизация робастная система, *MATLAB*, *Simulink*, *VisSim*.

### ВВЕДЕНИЕ

Правительство в текущем году существенно увеличило количество бюджетных мест в университетах для направления подготовки «Управление в технических системах». Одной из важнейших компетенций, которую должны приобрести выпускники данного направления, является умение проектировать регуляторы для замкнутых динамических систем. Эта компетенция включает не только умение пользоваться какой-либо программой, как, например, *MATLAB*, *Simulink*, но также и достаточные знания для того, чтобы не осуществлять моделирование систем и не допускать примитивных ошибок.

В данной статье мы рассмотрим несколько типичных ошибок при моделировании и системы. Эти ошибки приводят к ошибочному расчету регуляторов. Если расчеты регулятора осуществлены с ошибкой, следовательно, вся статья не имеет никакой ценности, и вся работа тех, кто ничем иным, кроме расчета регуляторов не занимается, превращается в фейк. Нежелательно преподавать в этой сфере прежде, чем все подобные ошибки не будут осознаны и устранены.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Постановка задачи проектирования регулятора в самом общем виде состоит в том, что имеется некоторый объект, имеющий входы и выходы. В данной статье мы ограничимся скалярным объектом, то есть таким объектом, который имеет только один вход и только один выход. Выход объекта – это именно та величина, в отношении которой ставится задача управления. Это в общем виде может быть любая физическая величина. Для управления её необходимо измерять, поэтому, как правило, эта величина преобразуется в электрический сигнал или непосредственно в последовательность цифровых отсчетов. По этой причине зачастую выходную величину называют выходным сигналом. Действительно, при математическом моделировании и при синтезе регулятора, а также при любом анализе все величины, входящие в систему, рассматриваются только как сигналы, поскольку самым важным в них является именно величина, основную информацию несет изменение этой величины во времени, поэтому мы также далее не будем делать разделения между понятиями «сигнал» и «выходная величина». В этой терминологии обеспечение равенства выходного сигнала той

величине, которая для него предписана, является основной целью управления.

Обязательное условие состоит в том, что выходной сигнал связан с входным сигналом некоторой зависимостью. В этой зависимости также присутствует компонента, которая никак не связана с входным сигналом, а связана с неизвестными внешними причинами. Если бы этой компоненты не было, тогда достаточно было бы знать зависимость выходной величины от входной, чтобы обеспечить успешное управление. Именно наличие неконтролируемой величины, которая далее называется возмущением, требует использования отрицательной обратной связи, поскольку без обратной связи управление не может быть точным. Действительно, если выходной сигнал является, например, суммой двух компонент, одна из которых полностью определена входным сигналом, а другая является неизвестной и случайной, тогда выходная величина никогда не может принимать желаемое значение, если не используется её измерение и коррекция входного сигнала до такой величины, чтобы выходной сигнал стал равным предписанному значению.

Этот простой принцип, состоящий в сравнении выходного сигнала с предписанием и изменением управления для подавления влияния возмущения используется во всех системах автоматического управления. Разница между предписанием и выходным сигналом называется ошибкой управления, а используемый принцип также можно назвать управлением по ошибке.

Таким образом, приходим к уравнению объекта в самом общем виде [1]:

$$\dot{y} = f(t, \dot{y}, y) + b(t, \dot{y}, y)u. \quad (1)$$

Здесь  $y \in R^1$  – выходной сигнал объекта;  $t$  – время;  $u \in R^1$  – управляющее воздействие, то есть входной сигнал;  $f(t, \dot{y}, y)$  и  $b(t, \dot{y}, y)$  – непрерывные и дифференцируемые функции, которые имеют ограниченные производные.

Данное уравнение не является единственно возможной формой модели объекта, и, кроме того, это уравнение не является универсальным. Принятие этого уравнения предполагает, что производная выходного сигнала может быть выделена отдельно в виде зависимости от всех других величин: от времени

Уравнение (1) описывает только ту часть выходного сигнала, которая зависит от управления  $u$  и состояния объекта  $y$ . Действие помехи, которая изменяет выходной сигнал в дополнение к результату действия управления, можно представить в виде суммирования указанного сигнала с суммарным результатом действия этой помехи, который можно обозначить сигналом  $h(t)$ .

В этом случае фактический выходной сигнал целесообразно обозначить другой величиной, например,  $z(t)$ , и тогда уравнение (1) следует дополнить ещё одним уравнением:

$$z(t) = y(t) + h(t). \quad (2)$$

Опытные инженеры и научные сотрудники прекрасно понимают существование связи (2), однако существованием помехи можно пренебречь при рассмотрении *линейных систем с единичной отрицательной обратной связью*, поскольку в таких системах, как будет далее показано, достаточно рассмотреть только тех свойств системы, которые проявляются при обработке задания. Эти свойства достаточно полно описывают также и свойства системы по подавлению возмущения. Во всех остальных случаях рассмотрение подавления возмущения является обязательным.

*Нельзя пренебрегать наличием помехи (2) и не исследовать обработку возмущения в следующих случаях:* а) если объект имеет нелинейные свойства; б) если структура системы отличается от структуры с единичной отрицательной обратной связью. Если преподаватель не заостряет внимание на этом факте, то он полностью ускользает из внимания студентов, это гарантировано, поскольку даже если преподаватель на этом факте внимание заостряет, по опыту преподавания можно утверждать, что почти все студенты и в этом случае этот факт не усваивают, и требуется дополнительный тренинг в виде тестирования и дополнительных консультаций по результатам тестирования.

Ставится задача проектирования регулятора, который обеспечит приближение величины выходного сигнала  $z(t)$  к заданию  $v(t)$  за счет соответствующих связей в структуре системы. При этом задание  $v(t)$  будет являться внешним сигналом, который для системы в целом является входным.

#### ОБСУЖДЕНИЕ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ И СВЯЗАННЫХ С ЭТИМ ПРОБЛЕМ

В инженерной практике широко используются методы графической записи уравнений. В этом случае используется тот факт, что сигналы в линейных системах могут быть преобразованы в их отображения по Лапласу, а в этом случае относительно сложные уравнения, в том числе и дифференциальные и интегральные, могут быть записаны как алгебраические уравнения. А алгебраические уравнения, в свою очередь, могут быть представлены с помощью связей и блоков, осуществляющих функции сложения или вычитания сигналов, а также умножений сигналов на функцию (в данном случае такая функция называется передаточной функцией соответствующего звена или элемента – объекта, регулятора и так далее).

Прежде всего, отметим, что соотношение (2) может быть легко представлено в операторной форме, для этого достаточно перейти от функций, зависящих от времени к функциям,

зависящим от комплексного аргумента Лапласа  $s$ . При таком переходе вид всех функций, разумеется, изменяется, поэтому вводятся новые обозначения. Принято для преобразований Лапласа применять заглавные буквы, тогда как для функций времени применяются строчные буквы.

В случае применения преобразования Лапласа к некоторой функции, получаем отображение по Лапласу от этой функции:

$$L\{y(t)\} \leftrightarrow Y(s) . \quad (3)$$

Здесь  $L\{\cdot\}$  – преобразование Лапласа,  $Y(s)$  – преобразование (образ) от функции  $y(t)$  по Лапласу [2–5].

Преобразование Лапласа определено следующим образом:

$$Y(s) = L\{y(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st}y(t)dt . \quad (4)$$

Обратное преобразование Лапласа определено следующим соотношением:

$$\begin{aligned} y(s) &= L^{-1}\{Y(s)\} = \\ &= \frac{1}{2\pi i} \lim_{\omega \rightarrow \infty} \int_{\sigma+i\omega}^{\sigma-i\omega} e^{-st}Y(s)ds . \end{aligned} \quad (5)$$

В операторной форме уравнение (2) приобретает следующий вид:

$$Z(s) = Y(s) + H(s) . \quad (6)$$

Как видим, соотношение (6) ничем не проще соотношения (2), оно идентично. Но применительно к дифференциальным уравнениям такой переход оказывается вполне оправданным.

Рассмотрим самый простой линейный объект первого порядка, описываемый следующим линейным дифференциальным уравнением:

$$b_0y(t) + b_1 \frac{dy(t)}{dt} = a_0u(t) . \quad (7)$$

В операторной форме это уравнение может быть записано в следующем виде:

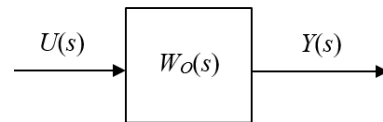
$$(b_0 + b_1s)Y(s) = a_0U(s) . \quad (8)$$

Как видим, операция дифференцирования функции времени  $y(t)$  преобразуется в операцию умножения её отображения  $Y(s)$  на множитель  $s$ . В этом случае можно путем простых преобразований написать зависимость отображения выходного сигнала  $Y(s)$  от сигнала управления  $U(s)$  в виде произведения отображения входного сигнала на передаточную функцию объекта  $W_O(s)$ :

$$Y(s) = \frac{a_0}{b_0 + b_1s}U(s) = W_O(s)U(s) . \quad (9)$$

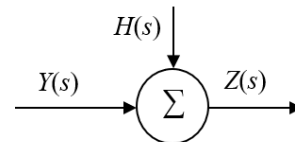
Это уравнение можно графическим способом отобразить как прямоугольник, символизирующий передаточную функцию  $W_O(s)$ , на входе которого имеется сигнал  $U(s)$ , а на выходе – сигнал  $Y(s)$ . Таким образом,

графическое представление уравнения (9) показано на *Рис. 1*.



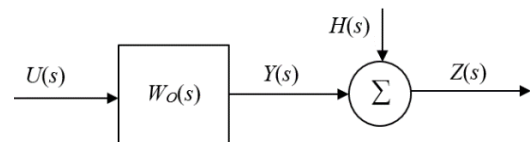
*Рис. 1.* Графическое представление уравнения (9)

Уравнение (6), соответственно, а графическом виде может быть представлено так, как показано на *Рис. 2*.



*Рис. 2.* Графическое представление уравнения (6)

Соединение графических изображений уравнения (6) и (9) даёт графическое изображение полной модели объекта, которое показано на *Рис. 3*.



*Рис. 3.* Графическое представление уравнения объекта (6), (9)

Обратимся, например, к рисунку номер 1 из публикации [1], который мы воспроизводим на нашем *Рис. 4*. На этом рисунке используется эклектичное обозначение функций и переменных, то есть они не вполне сочетаются друг с другом, а именно: сигналы в системе представлены в виде функций времени, поскольку отображаются строчными буквами, модель объекта представлена в виде дифференциального уравнения для сигналов, являющихся функциями времени, тогда как в регуляторе, который состоит из всех остальных элементов, применяются передаточные функции в операторной области, то есть в области преобразований Лапласа.

Отмеченное эклектичное сочетание не является столь уж серьезной ошибкой. Несколько десятилетий тому назад специалисты по теории автоматического управления, вероятнее всего, обратили бы внимание на такое несоответствие как на ошибку. Но в последнее время, когда стали широко применяться различные математические программные продукты для моделирования и оптимизации систем автоматического управления, в этих продуктах подобные несоответствия применяются почти всегда. Разработчики программных продуктов руководствовались лишь одним соображением: графическое

изображение или способ графического программирования модели должен быть понятным и однозначно трактуемым всеми пользователями, всё остальное не имеет значения. В этом случае практика даёт так часто подобные эклектические иллюстрации, что считать их ошибочными просто уже не принято. Однако студентам не мешает понимать, в каком

случае используется подобный вульгаризм, а в каком случае графическое представление уравнений абсолютно корректно. От некорректного графического представления модели всего один шаг к некорректному моделированию, и многие студенты и даже многие авторы научных статей этот шаг, к сожалению, совершают.

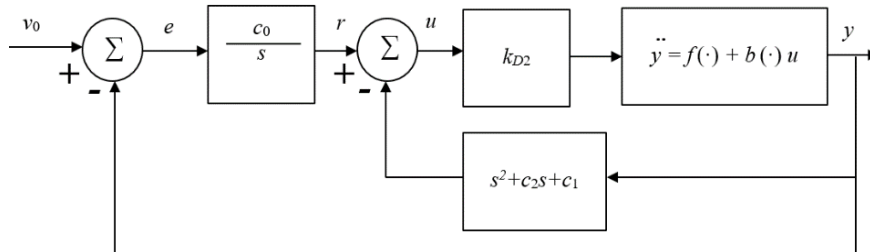


Рис. 4. Предложенная в публикации [1] схема системы с преобразованным регулятором

Обратим внимание на локальную обратную связь на Рис. 4, где использована передаточная функция, содержащая полином второй степени от  $s$ . Здесь либо автор предполагает, что двукратное дифференцирование сигнала обратной связи вполне легко реализуется, либо предлагает упрощенное обозначение так называемого дифференцирующего фильтра. Дальнейшее изложение в публикации [1] указывает на то, что на все-таки речь идет о фильтре, который даёт оценку второй производной лишь в некоторой ограниченной области частот, то есть в представленной передаточной функции имеется полином второго порядка также и в знаменателе, но в этом полиноме коэффициенты намного меньше аналогичных коэффициентов в числителе, кроме коэффициента при свободном члене, который равен единице.

Поясним нашу мысль. Передаточная функция в обсуждаемой локальной обратной связи имеет следующий вид:

$$W_1(s) = s^2 + c_2s + c_1. \quad (10)$$

Далее в статье [1] предлагается так называемый дифференцирующий фильтр, передаточная функция которого имеет следующий вид:

$$W_{DP}(s) = \frac{s^2 + c_2s + c_1}{\mu^2 s^2 + 2d\mu s + 1}. \quad (11)$$

Здесь  $\mu$  – малый параметр, который в дальнейшем при моделировании принимается равным 0,1, коэффициент  $d$  далее принимается равным 0,5.

Если действительно, этот малый параметр устремить к нулю, тогда передаточная функция (11) становится равной передаточной функции (10), однако, разумеется, значение  $\mu = 0,1$  далеко не является нулевым. Впрочем, это – вопрос точности управления, если погрешность на

уровне 10% авторам видится несущественной, то в таком случае указанную величину этого параметра можно с некоторой оговоркой считать «малой величиной», мы не рекомендуем такой подход.

Рассмотрим фрагмент структурной схемы на Рис. 4, состоящий из указанной передаточной функции и вычитающего элемента. Выходной сигнал на выходе этого вычитающего элемента назовем, например,  $x(t)$ , его отображение, соответственно, обозначим  $X(s)$ .

Уравнение этого фрагмента структуры имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} X(s) &= E(s) - W_1(s)Y(s) = \\ &= R(s) - (s^2 + c_2s + c_1)Y(s). \end{aligned} \quad (12)$$

Структурная схема по уравнению (12) показана на Рис. 5.

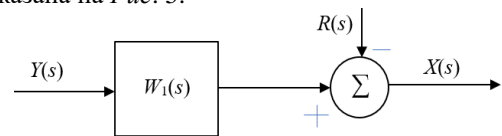


Рис. 5. Графическое представление уравнения объекта (12)

Уравнение (12) может быть преобразовано к следующему эквивалентному виду:

$$X(s) = W_1(s) \left[ \frac{R(s)}{W_1(s)} - Y(s) \right]. \quad (13)$$

Структурная схема по уравнению (13) показана на Рис. 6.

Это преобразование наглядно иллюстрирует правила эквивалентных преобразований графических структурных схем: если передаточная функция переносится через суммирующий или вычитающий элемент вперёд (с входной ветви на выходную ветвь), тогда в остальные ветви, входящие в этот суммирующий



или вычитающий элемент, приобретают сомножители в виде обратной передаточной функции. Перенос этой передаточной функции, являющейся звеном с двойным дифференцированием, через вычитающее звено добавляет звено в виде фильтра второго порядка в другую ветвь этой структуры. На свойства системы в целом такое эквивалентное преобразование не влияет, оно лишь позволяет иначе посмотреть на структуру в целом. Такое преобразование может иногда упростить или усложнить анализ системы.

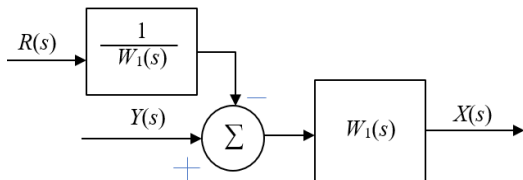


Рис. 6. Графическое представление уравнения объекта (12)

Аналогично мы можем перенести интегрирующее звено через вычитающий элемент, что добавит обратное звено в другую ветвь, а известно, что звено, обратное интегрирующему звену, есть дифференцирующее звено.

Таким образом, соотношение, описывающее левую часть в этой структуре, можно представить следующим соотношением:

$$X(s) = \frac{c_0}{s} E(s) - W_1(s) Y(s). \quad (14)$$

Структурная схема по уравнению (14) показана на Рис. 7.

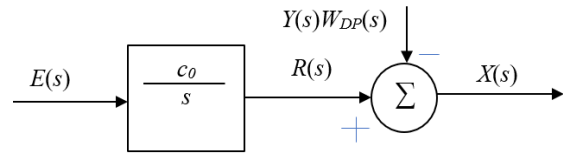


Рис. 7. Графическое представление уравнения объекта (14)

Уравнение (14) может быть преобразовано к следующему эквивалентному виду:

$$X(s) = \frac{c_0}{s} [E(s) - \frac{s}{c_0} W_1(s) Y(s)]. \quad (15)$$

Структурная схема по уравнению (13) показана на Рис. 8.

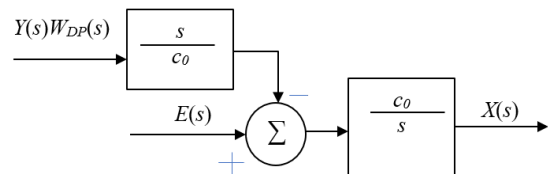


Рис. 8. Графическое представление уравнения объекта (12)

На этом основании структурную схему, показанную на Рис. 4, можно представить в следующем виде, который показан на Рис. 9.

Как видим, структура по Рис. 9 содержит во внутреннем контуре дифференцирование не второго порядка, а третьего, а в прямом контуре управления по-прежнему присутствует интегратор. Данную структурную схему можно и дальше упростить путем аналогичного преобразования на следующем этапе.

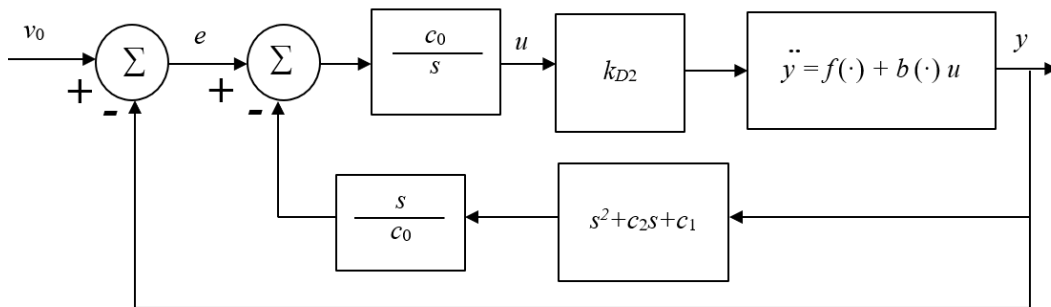


Рис. 9. Эквивалентное графическое представление уравнения системы по Рис. 4

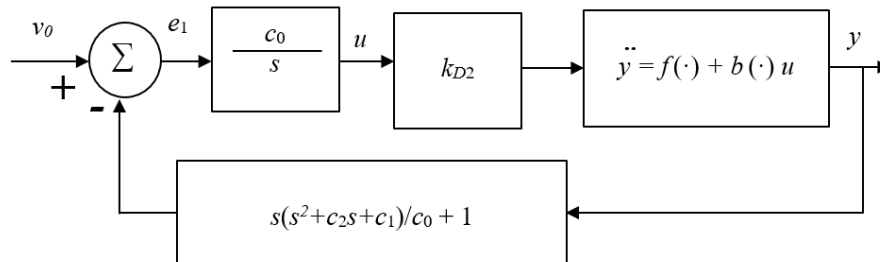


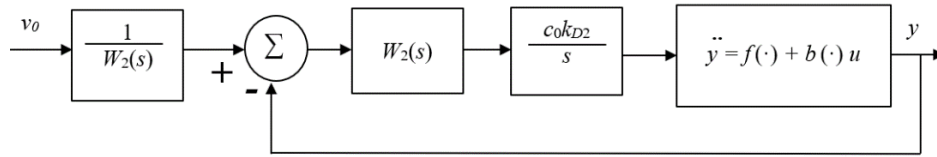
Рис. 10. Эквивалентное графическое представление уравнения системы по Рис. 4

Для упрощения введем условное обозначение полинома в обратной связи:

$$W_2(s) = \frac{1}{c_0} s^3 + \frac{c_2}{c_0} s^2 + \frac{c_1}{c_0} s + 1 =$$

$$= d_3 s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + 1. \quad (16)$$

Далее путем эквивалентного преобразования можем получить следующую структуру, показанную на *Рис. 11*.



*Рис. 11.* Эквивалентное графическое представление уравнения системы по *Рис. 4*

Структура, показанная на *Рис. 11*, позволяет сделать несколько предварительных выводов даже без каких-либо предварительных вычислений. Во-первых, на устойчивость системы в целом влияют только свойства контура: если этот контур неустойчивый, тогда система неработоспособна, если этот контур окажется устойчивым, система может оказаться работоспособной. Во-вторых, на входе этой системы имеется фильтр, который фильтрует сигнал предписанной величины  $v(t)$ , преобразуя его в медленно изменяющийся сигнал. В-третьих, если на выходе объекта учесть возмущение, как это показано на *Рис. 1*, то это возмущение охватывается только основным контуром, и, следовательно, только этот контур обеспечивает подавление этого возмущения. В-четвертых, анализ переходных процессов как отклик на скачок задания  $v(t)$  – это ничего не доказывающие переходные процессы, нет никакого смысла приводить их в статье или в диссертации в качестве якобы доказательства хороших свойств системы.

#### НЕСКОЛЬКО ПРИЗНАКОВ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Студенты как правило, невнимательны к мелочам и плохо понимают некоторые тонкости, которые обязательно понимает профессионал. В работах автора статьи [1] если величина, имеющая буквенное обозначение, имеет нулевой подстрочный индекс, то это, как правило, означает стартовое значение этой величины, то есть значение в момент  $t = 0$ . Поэтому достаточно странно, что во всех иллюстрациях в статье [1] вместо величины  $v(t)$  используется величина  $y_0$ .

В разделе «Постановка задачи» ничего не сказано о том, что желаемые свойства замкнутой системы задаются каким-то уравнением, но в описании метода расчёта вскользь упоминается такая функция, автор сообщает: « $F(y, \dot{y}, r) = r - c_1 \dot{y} - c_2 \ddot{y}$  можно рассматривать как функцию, отражающую желаемое поведение внутреннего контура системы» [1]. Под функцией, отражающей поведение, можно было бы понимать уравнение, связывающее выходной сигнал с входным непосредственно, т.е.,

например, такого вида:  $y(t) = y\{r(t)\}$ . Например, если задавать уравнение в операторной области, можно было бы задать её в следующем виде:

$$Y(s) = \frac{1}{c_2 s^2 + c_1 s + 1} R(s). \quad (11)$$

Поскольку в данной статье для внутреннего контура заданием является  $r(t)$ , то в приведенной терминологии можно было бы написать, что  $F(y, \dot{y}, y_0)$  – правая часть уравнения желаемой динамики, которое имеет следующий вид:

$$\dot{y}(t) = F(y, \dot{y}, r). \quad (12)$$

В этом случае следовало бы ожидать, что эта функция задана следующим образом:

$$F(y, \dot{y}, r) = r - c_1 \dot{y} - c_2 \ddot{y}. \quad (13)$$

Действительно, в этом случае получаем:

$$\dot{y}(t) = r - c_1 \dot{y} - c_2 \ddot{y}. \quad (14)$$

В операторном виде это приводит к соотношению

$$s^2 Y(s) = r - c_1 Y(s) - c_2 s Y(s). \quad (15)$$

Это приводит к следующему уравнению:

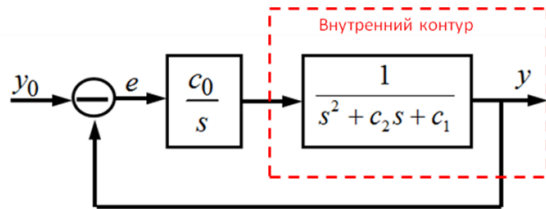
$$s^2 Y(s) + c_2 s Y(s) + c_1 Y(s) = R(s). \quad (16)$$

Отсюда можем получить:

$$Y(s) = \frac{1}{s^2 + c_2 s + c_1} R(s). \quad (17)$$

В данном случае отличие соотношения (17) от соотношения (11) состоит в том, что коэффициенты полинома имеют нетрадиционные индексы. Обычно индекс коэффициента совпадает со степенью аргумента при этом индексе, свободный член имеет нулевой индекс, коэффициент при члене первого порядка имеет индекс, равный единице, и так далее. Здесь по каким-то причинам на единицу больше. Кроме того, единичное значение, как правило, приписывают свободному члену, что означает, что статическая ошибка в контуре равна нулю, то есть контур точно обрабатывает постоянное задание, с нулевой ошибкой. Далее автор статьи [1] в предположении, что задача сведения внутреннего контура к желаемой модели (17) решена успешно, решает ещё одну задачу, которая состоит в управлении уже этим

внутренним контуром так, как если бы это был новый объект управления. Автор приводит структуру, в которой внутренний контур обозначен как линейная передаточная функция второго порядка, после чего как бы решается задача управления этим линейным объектом с помощью интегрального регулятора. На *Рис. 12* воспроизводится эта иллюстрация.



*Рис. 12.* Структурная схема внешнего контура из публикации [1]

В предположении, что задача управления объектом с помощью внутреннего контура решена успешно, управление таким новым объектом, который описывается моделью второго порядка, с помощью интегрирующего регулятора – не лучшая идея. Если бы желаемое уравнение имело первый порядок, тогда лучший регулятор для внешнего контура был бы пропорционально-интегральный, а если желаемое уравнение имеет второй порядок, в этом случае требуется также и дифференцирующий тракт, то есть нужен ПИД-регулятор, который содержит пропорциональный, интегрирующий и дифференцирующий тракты.

Все эти неувязки весьма характерны для студентов, но не для профессоров.

#### РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА

Далее в статье [1] даны рекомендации по реализации регулятора. Вместо двойного дифференцирования предлагается использовать так называемый дифференцирующий фильтр. По неизвестным причинам автор называет дифференцирующим фильтром фильтр, который задан следующим соотношением:

$$W_f(s) = \frac{1}{\mu^2 s^2 + 2d\mu s + 1}. \quad (18)$$

В оригинале статьи [1] данное уравнение, одиннадцатое по порядковому номеру, так и названо дословно «так называемый, дифференцирующий фильтр». Как можно усмотреть дифференцирующие свойства в фильтре (18), имеющим явно выраженные свойства фильтра низких частот, это пусть остаётся на совести автора статьи [1]. Мы же со своей стороны отметим, что дифференцирующим фильтром можно с некоторой оговоркой назвать элемент, в числителе передаточной функции которой стоит такой полином, который хотя в каком-то диапазоне частот приводит к возрастанию этой передаточной функции с ростом частоты.

Поскольку аргумент Лапласа  $s$  в уравнении (18) стоит только в знаменателе, увеличение величины этой дроби может происходить только вследствие уменьшения знаменателя, то поскольку все коэффициенты в знаменателе положительные, знаменатель не может убывать с ростом этого аргумента ни в какой области частот. Дифференцирующим фильтром можно было бы назвать элемент, например, со следующей передаточной функцией:

$$W_{DP}(s) = \frac{s^2 + c_2 s + c_1}{\mu^2 s^2 + 2d\mu s + 1}. \quad (19)$$

В итоге именно такой фильтр предлагается применять, но почему же тогда фильтр (18) называется дифференцирующим? Объяснение может состоять лишь в том, что указанный фрагмент статьи был написан студентом, либо автор писал статью урывками и не прочитал окончательный вариант внимательно перед направлением его в редакцию.

Далее в статье приводится раздел, описывающий как бы результаты моделирования. Пятый раздел статьи задаёт уравнение объекта в следующем виде:

$$\dot{y} = a_1(t)y\dot{y} - a_2(t)y^2 + b(t)u + M(t), \quad (20)$$

В этом разделе также приводится некоторая схема моделирования в программе *MATLAB Simulink*, а также приводятся графики переходных процессов, которые, якобы, подтверждают эффективность применения предложенного метода управления на примере объекта (20).

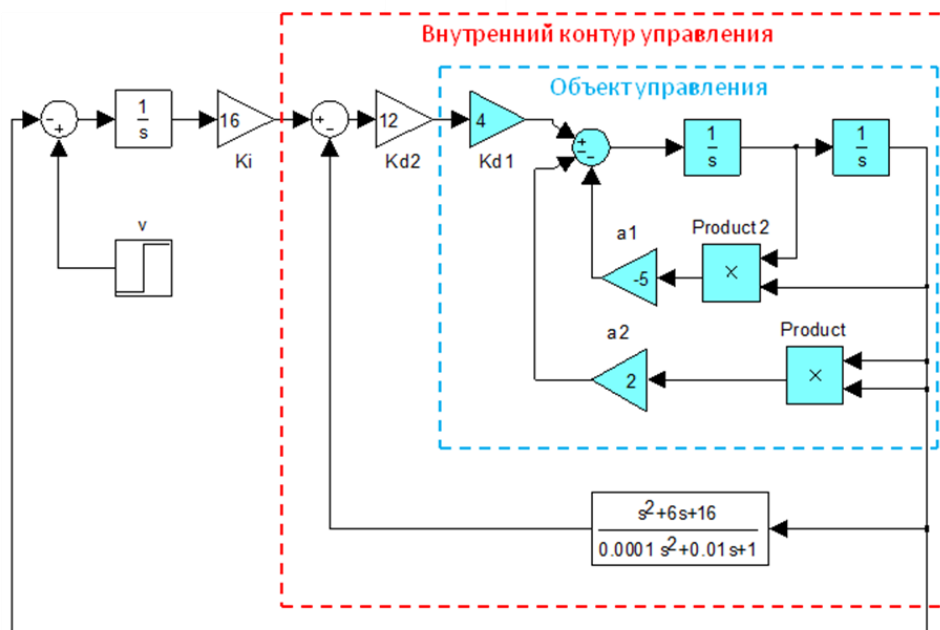
Если предыдущие разделы статьи, от введения до четвертого раздела включительно, можно трактовать как добросовестное заблуждение, недостаточно детальный анализ и так далее, то пятый раздел, названный «Результаты моделирования» приходится понимать либо как фейк, либо как демонстрация неумения моделировать, либо как демонстрацию ошибочности работы применяемого математического программного обеспечения. Не беремся настаивать на какой-то конкретной причине, возможно, имеется какая-то иная причина того, что доверять предлагаемым результатам нельзя ни в коем случае, и, разумеется, использовать эти результаты нигде нельзя, чего, впрочем, не делал, по-видимому, и автор статьи, ведь если бы этот объект имел какое-то практическое значение, и если бы результаты моделирования применялись на практике, эти ошибки уже давно бы выявились. Мы предполагаем, что это исследование было поручено студенту, который ничего хорошего с этой моделью получить не смог, но вследствие глубокого почтения к методу и глубокой веры в то, что описываемый метод все-таки должен дать какой-то положительный результат, студент, вероятно, нарисовал (то есть задал графическим способом) модель системы в указанном

программном обеспечении. Приведенные иллюстрации, насколько можно судить по многим признакам, по-видимому, не имеют никакого отношения к той структуре, которая приведена в качестве модели системы. Если все-таки мы ошибаемся, и эти переходные процессы получены в данной структуре с данным программным обеспечением, тогда приходится предположить, что программное обеспечение работало как-то не так, как следует, в нем, по-видимому, были какие-то сбои. Но вероятнее всего представленные графики получены в

других схемах. Например, нельзя исключить, что авторы этих графиков использовали для моделирования структуру, которая показана на *Рис. 12*.

Автор сообщает, что параметры объекта (20) «могут изменяться в диапазоне:  $-2 \leq a_1 \leq 5$ ;  $0 \leq a_2(t) \leq 2$ ;  $4 \leq b \leq 6$ ; возмущение  $M(t) = M_m(t - t_0)$ ;  $M_m = 10$ ;  $t_0 = 1c$ ».

При этом приведена схема моделирования, которую мы воспроизводим на *Рис. 13*.



*Рис. 13.* Схема моделирования замкнутой системы с объектом (20), приведенная в статье [1]

На этом рисунке без каких-либо объяснений сигнал предписанного значения обозначен буквой  $v$ , что соответствует принятой нами и традиционной терминологии, но никак не соответствует терминологии, используемой в теоретической части данной статьи. Сколько мы ни изучали данную схему (*Рис. 13*), мы не обнаружили никаких признаков моделирования возмущения  $M(t)$ . Это возмущение должно иметь точку приложения на входе суммирующего устройства, содержащегося в модели объекта. Таким образом, даже если бы подобное возмущение использовалось при моделировании, в соответствии с уравнением (20), это было бы совсем не такое возмущение, которое мы обсуждали выше и показывали на *Рис. 2*. Это возмущение проходило бы через два интегратора и, следовательно, существенно сглаживалось бы, влияние такого возмущения подавить более просто. В тексте статьи сказано, что схема приведена для моделирования без возмущения, однако, приведены графики моделирования с возмущением. Тайну этого несоответствия описания различных результатов нам разгадать не удалось.

Обратим внимание на некоторую странность в модели на *Рис. 13*. Коэффициент  $a_2$  обозначен отрицательным, он равен  $a_2 = -5$ , но дополнительно к этому у суммирующего устройства используется вычитающий вход, то есть вход запрограммирован как вычитающий. Спрашивается: какой смысл задавать два минуса? Согласно соотношению (20), этот коэффициент должен входить со знаком «плюс», поэтому минус на суммирующем усилителе не нужен. Хорошо, согласимся, допустим, авторы решили так обеспечить положительную обратную связь – задать минус на суммирующем устройстве и задать отрицательный коэффициент. Обратим внимание на соотношение (20) с позиции того, какая обратная связь имеет место в данном объекте. Мы заметим, что в объекте имеется две внутренние обратные связи, причем обе эти обратные связи имеют знакопеременный характер, то есть про обе эти обратные связи нельзя с определенностью сказать, положительные ли они, или отрицательные.

Если в объекте имеет место отрицательная обратная связь, она, скорее всего, может вносить стабилизирующий вклад. Положительная



обратная связь всегда осуществляет дестабилизирующее действие. Две положительные обратные связи – это очень мощный дестабилизирующий фактор, с которым крайне трудно бороться. Первый интегратор в модели объекта при условии, что он охвачен положительной обратной связью, будет приводить к резкому возрастанию сигнала на его выходе. Если выходной сигнал первого интегратора и выходной сигнал второго интегратора имеют одинаковый знак, тогда первый внутренний контур имеет положительную обратную связь, что приведет к резкому росту сигнала в объекте, и едва ли контур стабилизации сможет справиться с этим ростом, тем более что это – не единственная проблема в данном объекте. Коэффициент обратной связи в этом контуре, согласно условию задачи, может изменять знак, он изменяется в пределах  $-2 \leq a_1 \leq 5$ , поэтому ситуация может измениться, связь может стать положительной и в том случае, если выходные сигналы указанных интеграторов имеют разные знаки. Кроме того, имеется ещё одна внутренняя обратная связь в объекте, в виде квадрата сигнала с выхода второго интегратора, эта величина суммируется с отрицательным коэффициентом. Квадрат этой величины всегда положительный, поэтому если выходная величина положительна, то обратная связь отрицательна, но если эта величина отрицательна, тогда возведение в квадрат делает величину положительной, отрицательный коэффициент делает её отрицательной. Итак, обратная связь по знаку совпадает с причиной, которая её породила, то есть обратная связь в этом случае положительная. Следовательно, в модели объекта имеются два контура, каждый из которых в зависимости от знаков сигнала могут стать положительными по-отдельности или совместно. Этот объект не просто «нестационарный», его математическая модель обладает склонностью к лавинообразному нарастанию сигналов, преобразуемых в нем и формируемых на его выходе. Чтобы утверждать, что автору удалось управлять этим объектом, следовало бы это доказать более наглядно. Приводимые графики воспроизвести не удаётся.

Сомнения в успешности также порождаются и тем фактом, что желаемое уравнение замкнутой системы задано в следующем виде, мы позволим себе процитировать дословно: «Требования к переходным процессам системы следующие:  $t_n \leq 4c$ ;  $\sigma \leq 5\%$ ; статическая ошибка отсутствует. В соответствии с ними сформировано эталонное уравнение в виде

$$D(s) = s^3 + 6s^2 + 16s + 16 = 0.$$

Во-первых, отметим, что желаемое уравнение – это уравнение, связывающее входную и выходную величины. Мы не видим в процитированном выше соотношении не

входной величины, ни выходной величины. В приведенном соотношении написан так называемый «характеристический полином» системы, который приравнен к нулю. Это называется характеристическим уравнением, а не желаемым. В этой же статье приводятся выше методы задания желаемого уравнения системы, см. выше. Согласно теоретической вводной части, желаемое уравнение должно задаваться в виде соотношения, в котором в правой части стоит старшая производная, а в левой части – функция от входного сигнала, выходного сигнала и всех его производных, кроме самой старшей.

Уделим некоторое внимание методам демонстрации успеха на примере приведенных графиков переходных процессов. Если бы пятый раздел продолжал терминологию предшествующих разделов, то следовало бы написать, что желаемое уравнение системы имеет следующий вид:

$$\ddot{y}(t) = y_0 - 16y - 16\dot{y} - 6\ddot{y}. \quad (21)$$

Если бы уравнение имело такой вид, можно было бы согласиться, что теоретическая часть и экспериментальная часть имеют какую-то логическую связь и написаны одним автором.

Кроме того, обратим внимание на свободный член. Он должен быть единичным. Вместо величины 16 перед  $y$  должна стоять единица, в противном случае система с таким характеристическим полиномом не выполняет своих функций. Судя по структуре, приведенной на *Рис. 13*, замкнутая система должна быть именно такой, чтобы иметь свободный член в характеристическом полиноме, равным единице. Судя по приведенным в статье графикам переходных процессов, система также не имеет статической ошибки, либо она чрезвычайно мала, поэтому коэффициент при свободном члене должен быть равен единице. Почему это не так – вопрос к автору публикации [1]. Впрочем, подобная небрежность продемонстрирована и в другой статье этого автора [6], которая справедливо критиковалась в публикации [7].

Рассмотрим, что нам демонстрируют результаты испытаний рассчитанной системы. Предположим, что продемонстрированные переходные процессы действительно получены в той модели, которая показана на *Рис. 13*. В статье даны следующие переходные процессы: а) график эталонного переходного процесса (ничего не доказывает, это просто желание); б) график якобы фактического переходного процесса в виде отклика системы на ступенчатый единичный скачок сигнала задания  $y_0$ , этот сигнал полностью совпадает с первым графиком, только он приведен в другом цветовом исполнении; в) «изменение управляющего воздействия в системе» – этот сигнал **явно фейковый**, что мы поясним ниже; г) начальный участок того же сигнала в более крупном

масштабе по оси времени; *д*) трапецеидальный сигнал возмущения с амплитудой, равной двум, после чего он линейно ниспадает до единичного значения, затем резко становится нулевым; *е*) влияние возмущения на управление (вероятно, также фейковый график); *ж*) график изменения параметра  $a_1(t)$ ; *з*) влияние нестационарного параметра  $a_1(t)$  на управляющее воздействие.

Обратим внимание на то, что про первые два графика сказано, что они получены «при постоянных значениях параметров и отсутствии внешних возмущений». В тексте статьи не сказано, при каких именно «постоянных значениях параметров» получены данные графики. Следует ли понимать это так, что все эти графики получаются всегда одинаковыми, какими бы ни были значения указанных параметров? Параметров в этой модели имеется три, причем, коэффициент усиления прямого тракта изменяется в полтора раза, от 4 до 6. Коэффициенты обратной связи изменяются весьма существенно, но каждый из диапазонов включает в себя также и нулевое значение. Разумеется, если оба коэффициента нулевые, тогда объект преобразуется в линейный объект, состоящий из двух интеграторов с постоянным коэффициентом, изменяющимся в небольших пределах (от 4 до 6), управление таким объектом не представляет никакой проблемы, оно легко может быть выполнено. По-видимому, можно подобрать некоторые достаточно малые ненулевые значения двух коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$ , при которых управление таким объектом также остается возможным и не слишком сложным. Но применительно к крайним значениям этих коэффициентов **продемонстрированный результат видится фейковым**, невозможным. Прежде чем указать на признаки фейка, мы зададим автору вопрос: допустимо ли исследовать нелинейную систему только по реакции системы на единичный ступенчатый скачок? Даже если бы объект был стационарным, то есть если бы все параметры были фиксированными, точно известными, вследствие нелинейности уравнения объекта (20) переходный процесс может быть весьма привлекательным при одном каком-то значении задания, и он может оказаться неприемлемым, неустойчивым при каком-то другом входном воздействии. Обратим внимание на то, что обе обратные связи пропорциональны квадрату сигнала, поэтому если, например, входной сигнал увеличится всего лишь вдвое, тогда сигналы обратных связей, которые, как мы уже отмечали, носят дестабилизирующий характер, возрастут квадратично, то есть в четыре раза. Если сигнал увеличить в 10 раз, то сигналы обратной связи возрастут в 100 раз и так далее. Мы не увидели в постановке задачи ограничений на входные сигналы. И обратно: если входной сигнал уменьшить, например, в 10 раз, тогда сигналы обратной связи уменьшатся в 100 раз и

так далее. Также обратим внимание на то, что вследствие указанной особенности, состоящей в том, что две внутренние обратной связи в зависимости от знака входного сигнала могут оказаться как положительными, так и отрицательными, подача на вход сигнала только одного знака не является демонстрацией достаточного исследования полученной системы. Это – азбука разработчика системы автоматического управления: если проектируется система управления нелинейным объектом, тогда результат проектирования следует верифицировать не одним набором графиков при фиксированном значении скачка, а семейством графиков переходных процессов. Даже если нелинейный элемент только один, то для проверки нужно семейство графиков, если же нелинейностей несколько, следует получать семейство семейств графиков переходных процессов и так далее. А в случае, когда наряду с нелинейностью имеются ещё и нестационарные свойства модели объекта, тогда исследование результата должно осуществляться ещё более детально и глубоко. Самой распространенной ошибкой студентов является перенос методики верификации линейных систем на процедуру верификации нелинейных систем. Действительно, если система линейная, тогда она одинаково реагирует на сигналы произвольной амплитуды, изменение амплитуды сигнала не имеет никакого смысла: если любой сигнал в линейной системе увеличить в  $N$  раз, тогда и соответствующий отклик в этой системе на этот сигнал увеличится ровно в  $N$  раз. По этой причине всегда выбирается сигнал с амплитудой, равной единице, и традиция строить отклики системы на единичный ступенчатый скачок целесообразна исключительно только для линейных систем. Нелинейные системы так не исследуют, и грамотный инженер или преподаватель в этой области знаний это знает. Не знать этого может только недостаточно внимательный студент, поскольку в курсе по теории автоматического управления это знание предполагается.

#### ПОЧЕМУ НЕЛЬЗЯ ВЕРИТЬ ПРИВЕДЕННЫМ ГРАФИКАМ

Мы указали на тот факт, что мы не верим приведенному графику управляющего сигнала, который дан в работе [1]. Для начала приведем это график из этой публикации, см. *Рис. 14*.

Установившееся значение этого сигнала равно единице, что нетрудно видеть из приведенного графика. Тем самым утверждается, что в равновесном режиме управляющий сигнал, поступающий на вход объекта (20), равен двум. Иными словами,  $u = 2$ . Мы приведем на *Рис. 15* фрагмент модели объекта, взятый из *Рис. 12*, который взят из публикации [1]. На этом фрагменте мы введем некоторые контрольные точки.

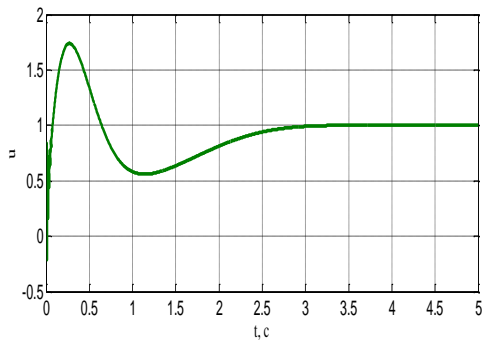


Рис. 14. Изменение управляющего воздействия в системе по Рис. 13, согласно публикации [1]

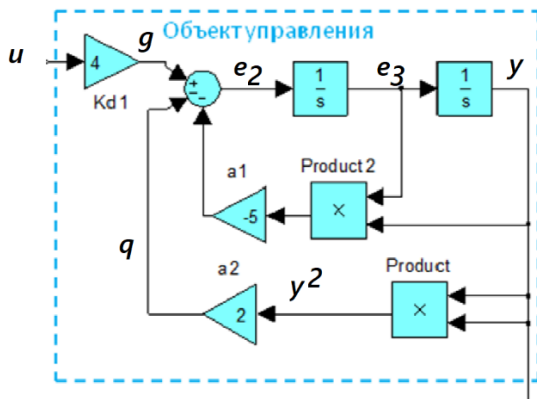


Рис. 15. Фрагменты модели объекта из Рис. 13

Итак, на этом рисунке установившееся состояние сигнала управления равно  $u = 2$ , а предписанное значение выходного сигнала при этом, как мы знаем  $y = 1$ . Сигнал  $u$ , проходя через усилитель с коэффициентом, равным 4, формирует сигнал  $g = 4u = 8$ . В свою очередь, сигнал  $y$ , проходя через устройство возведения в квадрат и через усилитель с коэффициентом, равным двум, формирует сигнал  $q = 2$ . Поскольку мы обсуждаем равновесное состояние объекта, можно утверждать, что на входах обоих интеграторов сигналы равны нулю:  $e_2 = e_3 = 0$ . В этом случае нам известны все входные сигналы на суммирующем устройстве, из этого мы можем рассчитать выходной сигнал этого сумматора:  $e_2 = g - q = 8 - 2 = 6$ . Получается неувязка. Для того, чтобы на выходе этого сумматора сигнал был равен нулю, требуется, чтобы сигнал обратной связи  $q$  был равен восьми. Это могло бы иметь место, если бы коэффициент  $a_2$  принял значение, равное восьми. Но, как говорится, «при всем уважении к автору статьи» не получается такой вариант, ведь диапазон возможных значений для этого коэффициента задан:  $0 \leq a_2(t) \leq 2$ . При всем желании мы не можем признать, что сигнал, показанный на Рис. 14, соответствует сигналу управления объектом, показанным на Рис. 13. Следовательно, приведенный в обсуждаемой статье сигнал является **фейковым**.

В качестве «вишенки на торте» рассмотрим ещё два графика из этой же статьи в этих же условиях. На Рис. 16 представлен график изменения параметра  $a_1(t)$ ; на Рис. 17 показано влияние этого параметра на управляющее воздействие  $u(t)$ .

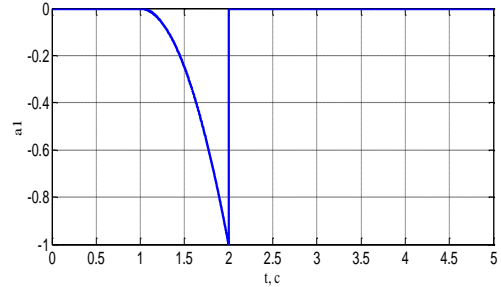


Рис. 16. График изменения параметра  $a_1(t)$  из публикации [1]

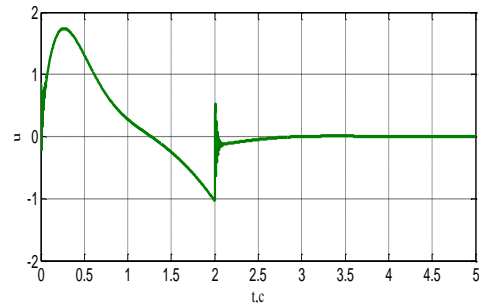


Рис. 17. Влияние нестационарного параметра  $a_1(t)$  на управляющее воздействие из публикации [1]

Во-первых, очень забавляет тот факт, что стартовое и окончательное значение указанного параметра равно нулю. То есть фактически до начала моделирования и к моменту окончания моделирования этот коэффициент был равен нулю. Тогда стоило ли о нем говорить? Ну, допустим, ладно, сначала был нулевым, потом возник ненулевой на некоторое время. В этих условиях сигнал управления изменился с нулевого до значения примерно 1,7, затем перешел через ноль, достиг значения -1, после чего стал нулевым. Тогда вновь обратимся к Рис. 15. Сигнал управления равен нулю, выходной сигнал равен единице, сигнал обратной связи равен двум:  $q = 2$ . Сигнал на выходе суммирующего устройства в этом случае вычисляем:  $e_2 = g - q = 0 - 2 = -2$ . Получили минус два, а должно быть ноль. Опять нестыковка. Опять фейковый сигнал, с большой долей вероятности. Этот сигнал мы называем **фейковым по вероятности**, поскольку можно придумать условия, оправдывающие такое значение сигналов. Например, не запрещено значение коэффициента, равное нулю. Но, во-первых, неэтично приводить на структурной схеме те коэффициенты, которые не соответствуют фактическим коэффициентам при моделировании, в этом случае следовало бы указать нулевой коэффициент на графике, или сообщить об этом в комментарии к

соответствующей иллюстрации переходного процесса, во-вторых, принятие этого коэффициента равным нулю является существенным упрощением математической модели объекта, упрощающим управление таким объектом. Так или иначе это все-таки фейк. Другой вариант попытки оправдать автора статьи [1] состоит в предположении, что данный график приведен при величине задания, равном нулю, то есть в этом случае в стационарном состоянии выходной сигнал также равен нулю. Но и против этого приходится возразить. Во-первых, в этом случае эту особенность следовало бы сообщить, во-вторых, в этом случае непонятным оказывается переходный процесс на первой секунде: на интервале от 0 до 1 секунды обсуждаемый параметр равен нулю, и входной сигнал в таком предположении также равен нулю, тогда что же порождает ненулевой переходный процесс? В данном случае какие бы мы оправдания ни пытались найти, нам не удаётся понять и принять этот сигнал за реально соответствующий модели, показанной на Рис. 13. Таким образом, этот сигнал обоснованно подозревается нами в том, что он также является фейком.

#### ТАИНСТВЕННЫЕ СОВПАДЕНИЯ ОШИБОК

Мы обратили уже внимание на то, что в статье [1] фильтр вида (18) по непонятным причинам называется дифференцирующим фильтром. Можно было бы предположить причину этой досадной ошибки в невнимательности или в том, что данный фрагмент текста написан студентом. Однако, к сожалению, подобную грубую ошибку мы нашли и в другой статье с участием этого же автора, а именно, в статье [6]. Действительно, в этой публикации читаем: «Реализация ПИД и ПИ<sup>2</sup>Д-регуляторов предполагает использование для получения дифференциальных составляющих специальных устройств. В данной работе предлагается с этой целью применить дифференцирующий фильтр, аналогичный тому, что давно используется в системах, основанных на методе локализации ... Его передаточная функция имеет следующий вид:

$$W_f(p) = \frac{1}{\mu^2 p^2 + 2d\mu p + 1} \text{ »}.$$

Это потрясает, на самом деле: как может профессор в области теории автоматического управления фильтр с подобной передаточной функцией в нескольких статьях упорно называть «дифференцирующим фильтром», если это – в чистом виде фильтр низких частот, это понятие невозможно.

Эта странность повторяется наряду с упорным использованием некорректного названия регулятора, а именно, регулятор,

имеющий двукратное дифференцирование, упорно называется «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятор», тогда как в мировой науке такой регулятор был бы назван «ПИД<sup>2</sup>-регулятор», чему имеется ряд подтверждений. Так, например, в публикациях [8 – 17] применяется термин «PI<sup>2</sup>D<sup>μ</sup> Control», где буквенные индексы λ и μ применены именно как показатели степени при алгебраических символах, то есть указанный термин следует трактовать так: «управление, где имеется пропорциональный тракт, также интегрирующий тракт в степени λ и дифференцирующий тракт в степени μ». В полном соответствии с этой общепринятой в мире терминологией модификацию ПИД-регулятора, где содержится дополнительно тракт с двойным дифференцированием, следует называть «ПИД<sup>2</sup>-регулятор» [7].

В статье [1] предлагаемая структура регулятора описана как новая. Безусловно, «предлагаемая» структура регулятора новой не является, достаточно сопоставить рисунок в статье [1] с рисунком в статье с участием этого же автора в статье [6]. Поместим эти два рисунка, чтобы наши читатели могли их сравнить. На Рис. 18 приведена структура из статьи [6], на Рис. 19 приведена структура из статьи [1]. Применены несколько отличающиеся обозначения, вместо символа дифференцирования  $p$  применен аргумент преобразования Лапласа  $s$ , такая замена  $p \leftrightarrow s$  часто встречается в статьях по теории автоматического управления. Также изменены название констант, а добавление коэффициента последовательно с объектом не делает эту структуру принципиально отличающейся.

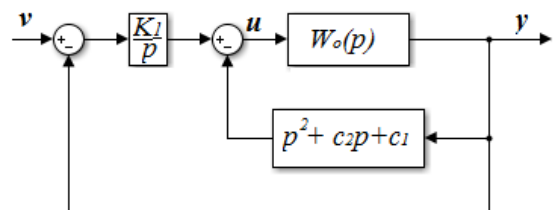


Рис. 18. Структурная схема системы с «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором» (не правильный термин) из публикации [6]

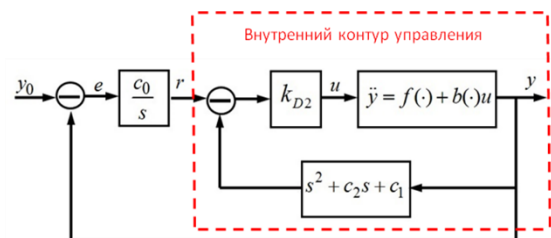


Рис. 19. Структурная схема системы с «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором» (не правильный термин) из публикации [1]



Здесь не обсуждается вопрос приоритета этой структуры, поскольку эти статьи написаны тем же автором, и данная структура и в публикации [6] не является новой и на новизну не претендует. Мы лишь отмечаем, что очередная статья пытается доказать эффективность той же самой структуры, для чего излагаются теоретические основания для её применения, а также даны якобы модельные подтверждения эффективности этой структуры. На этом материале строится очередная публикация, не первая и не последняя в этой череде. Проблема не в отсутствии новизны этой структуры, а в отсутствии полезности этой структуры как таковой, и, соответственно, в ошибочности утверждений о том, насколько такая структура полезна. Поскольку эта структура предлагалась в качестве полезной не только для управления нелинейными объектами, но и для управления линейными объектами, доказательство бесполезности этой структуры можно делать не только методом моделирования нелинейных систем с таким регулятором, но и путем моделирования линейных систем с этим регулятором. Во всяком случае, для опровержения полезности этой структуры в случае линейной системы всё необходимое уже сделали другие авторы, поэтому достаточно дать ссылку на эту статью, которая уже упоминалась, а именно, это публикация [7]. Если нашим читателям покажется, что эта статья недостаточно детально вскрывает отсутствие полезности структуры по Рис. 18, мы можем выполнить и предложить собственные результаты моделирования такой системы, в том числе и с объектом из публикации [6], или с любым другим объектом, для которого структура подобного вида выдвигается как полезная. В задачи данной статьи этот процесс не входит.

#### СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Мы осуществили некоторые пробные моделирования объекта, рассматриваемого в публикации [1] и в этой работе. На Рис. 20 показана модель для моделирования объекта в программе *VisSim*. Далее на Рис. 21 показаны переходные процессы в этой модели при подаче синусоидальных сигналов различной амплитуды, амплитуда указана рядом с графиками. На Рис. 22 показаны аналогичные переходные процессы в этой модели при подаче ступенчатых отрицательных скачков различной амплитуды, амплитуда указана рядом с графиками. Видно, что объект ведёт себя существенно по-разному при подаче положительных и отрицательных сигналов. Этот объект существенно неустойчивый. Мы не утверждаем, что этим объектом невозможно управлять. Но этим объектом достоверно не получится управлять при использовании того регулятора, который предлагается в статье [1],

это проверено моделированием. Моделирование в программе *VisSim* тождественно практическому испытанию алгоритма управления, поскольку если система, действительно, робастная, её моделирование в этой программе будет корректным, а если моделирование корректным не получается, следовательно, система достоверно негрубая, и уж тем более не робастная. Мы в данном случае под грубой системой понимаем систему, переходный процесс в которой несущественно изменяется при изменении коэффициентов в четвертом знаке, т.е. на уровне 0,01%, а робастной системой называем такую, переходные процессы в которой практически не изменяются, или изменяются слабо и несущественно с позиции их качества при изменении параметров в заданном диапазоне, который заведомо больше 10%. Поэтому утверждение, что в данной статье разработан робастный регулятор для такого объекта является фейком.

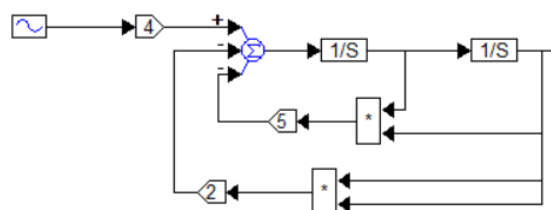


Рис. 20. Модель объекта в программе *VisSim*

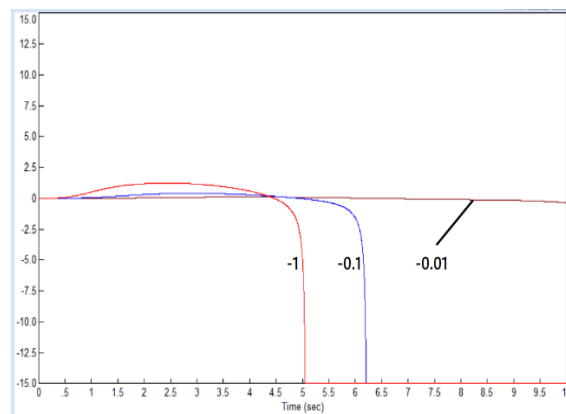


Рис. 21. Переходные процессы в объекте с моделью по Рис. 20 при подаче синусоидальных сигналов различной амплитуды (значение амплитуды указано рядом с графиком)

Данный объект (20), как мы уже отмечали, является существенно нелинейным, содержит существенно дестабилизирующие его обратные связи. В сравнении с этим объектом перевернутый маятник не представляет никакой сложности, сложность данного объекта несопоставимо выше. Предположительно, этот объект не соответствует никакой практической задаче, не описывает никакой реальный объект. Если он выдуман для учебных целей, тогда обращаться с этим объектом следовало бы

предельно корректно, чтобы учебные цели были реально достигнуты.

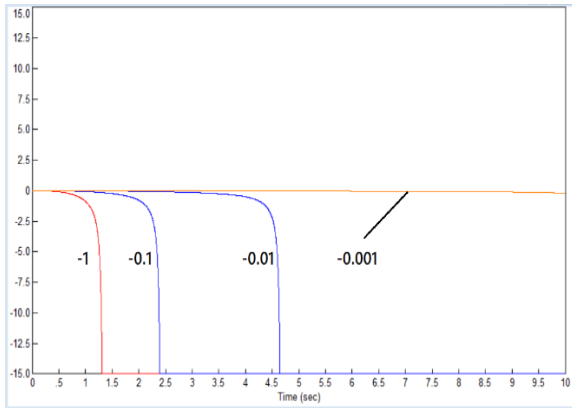


Рис. 22. Переходные процессы в объекте с моделью по Рис. 20 при подаче синусоидальных сигналов различной амплитуды со сдвигом фазы на половину периода (значение амплитуды указано рядом с графиком)

Данный объект можно слегка модифицировать, чтобы он стал в некоторой степени управляемым. Например, если ввести вычисление модуля из выходного сигнала в тех двух случаях, где он служит переменным коэффициентом обратной связи, тогда объект приобретет вполне управляемый вид. В этом случае уравнение объекта будет следующим:

$$\ddot{y} = a_1(t)|y|\dot{y} - a_2(t)|y|y + b(t)u + M(t). \quad (22)$$

На Рис. 23 показана модель такого объекта в программе VisSim. На Рис. 24–26 показаны соответствующие переходные процессы на выходе такого объекта при подаче на его вход ступенчатых и гармонических сигналов.

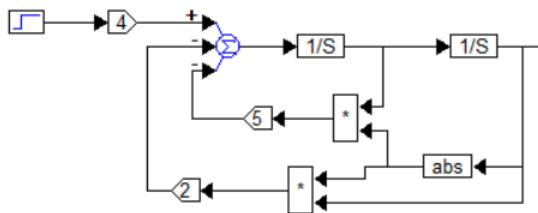


Рис. 23. Модифицированная модель объекта в программе VisSim (введен модуль для выходного сигнала, используемого в качестве сомножителя)

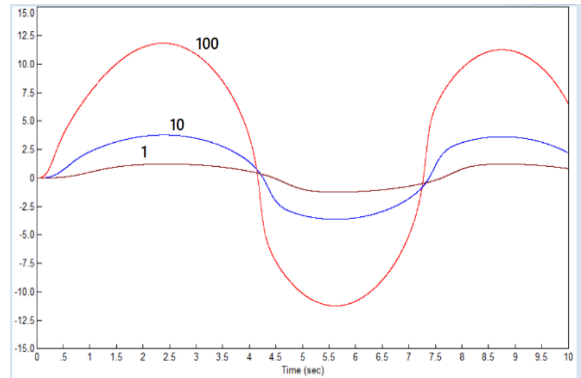


Рис. 24. Переходные процессы в объекте с моделью по Рис. 23 при различных амплитудах положительного единичного ступенчатого скачка (значение амплитуды указано рядом с графиком)

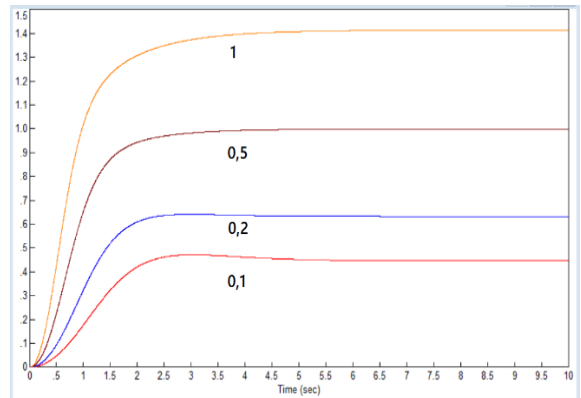


Рис. 25. Переходные процессы в объекте с моделью по Рис. 23 при различных амплитудах положительного единичного ступенчатого скачка (значение амплитуды указано рядом с графиком)

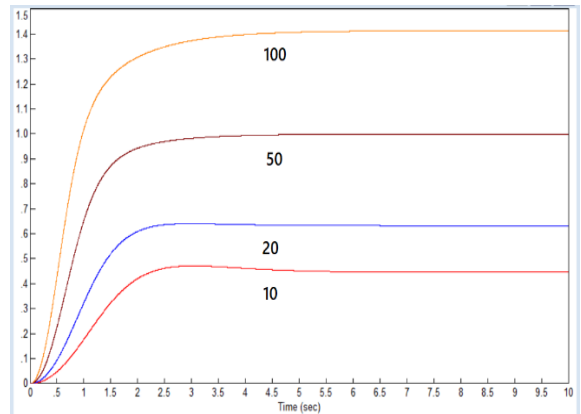


Рис. 26. Переходные процессы в объекте с моделью по Рис. 23 при различных амплитудах положительного ступенчатого скачка, продолжение (значение амплитуды указано рядом с графиком)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы по статье [1], сделанные автором в этой статье, представляются необоснованными и ошибочными. Мы не беремся указать причину, по которой данная статья была написана в таком виде. Причины могут быть разными, может оказаться, что подвело программное

обеспечение, может быть, в статье использованы недостаточно достоверные результаты исследований студента, могут быть и иные причины.

Поскольку данная статья написана в научный журнал, мы выступаем в ней только в форме научной дискуссии, которая в науке является основной движущей силой развития науки. Наша статья ни в коей мере не ставит под сомнение квалификацию авторов обсуждаемой статьи. Автор надеется, что, возможно, он не учел каких-то особенностей моделирования. Если нашими читателями будут найдены ошибки в настоящей статье, мы с благодарностью изучим контраргументы. Опубликование различных мнений мы считаем наиболее действенным инструментарием научных дискуссий, ведь мы согласны с утверждением «В споре рождается истина», имея в виду спор научный, с внимательным принятием к сведению всех аргументов оппонентов, с использованием научных обоснований и исключительно научных методов ведения дискуссий во имя истины и во славу науки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Французова Г. А. Синтез робастных систем с ПИ2Д-регулятором для нелинейных объектов с переменными параметрами. Автоматика и программная инженерия. 2018. № 2 (24). С. 9–16. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-2-2018-1.pdf>
- [2] Wang, Y.; Chen, G. Formalization of Laplace Transform in Coq, 2017 International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), 2017, pp. 13-21, doi: 10.1109/DSA.2017.12.
- [3] Erfani, S.; Ahmadi, M. Fundamentals of generalized Laplace transform techniques for linear time-varying systems, ISSCS 2011 - International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISSCS.2011.5978707.
- [4] Adams, J. L.; Veillette, R. J.; Hartley T. T.; Adams, L. I. Restrictions on the inverse Laplace transform for fractional-order systems, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967367.
- [5] Fulton, D. Explaining complex power, in IEEE Power Engineering Review, vol. 19, no. 6, pp. 47-, June 1999, doi: 10.1109/39.768516.
- [6] Г.А. Французова, Е.П. Котова. Расчёт и исследование возможностей систем автоматического управления с типовым ПИД-регулятором и модифицированным ПИ2Д-регулятором. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 1 (19). С. 10–15. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-1-2017-1.pdf>
- [7] Д.О. Терешкин, В.М. Семибаламут. О корректности терминологии и корректности использования ПИ<sup>2</sup>Д, ПИД<sup>2</sup>, ПИ<sup>2</sup>Д<sup>2</sup>, ПЛ и подобных регуляторов. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 3 (21). С. 123–134. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2017-12.pdf>
- [8] Podlubny, I. Fractional Order Systems and PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Controllers. IEEE Trans. Autom. Control 1999, 44, 208–214. [CrossRef]
- [9] Dorcak, L.; Terpak, J.; Papajova, M.; Dorcakova, F.; Pivka, L. Design of the fractional-order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> controllers based on the optimization with self-organizing migrating algorithm. Acta Montan. Slovaca 2007, 12, 285–293.
- [10] Abraham, A.; Biswas, A.; Das, S.; Dasgupta, S. Design of Fractional Order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Controllers with an Improved Differential Evolution. Available online: [http://www.softcomputing.net/gecco2008\\_abraham.pdf](http://www.softcomputing.net/gecco2008_abraham.pdf) (accessed on 21 January 2022).
- [11] Bettoua, K.; Charef, A. Control quality enhancement using fractional PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> controller. Int. J. Syst. Sci. 2009, 40, 875–888. [CrossRef]
- [12] El-Khazali, R. Fractional-order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> controller design. Comput. Math. Appl. 2013, 66, 639–646. [CrossRef]
- [13] Ranganayakulu, R.; Uday, B.B.; Rao, A.; Patle, D. A comparative study of fractional order PI<sup>λ</sup>/PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> tuning rules for stable first order plus time delay processes. Resour. Effic. Technol. 2016, 2, 136–152. [CrossRef]
- [14] Pan, Z.; Wang, X.; Hoang, T.; Chen, Y.; Tian, L. Design and Application of Fractional Order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Controller in Grid-Connected Inverter System. In Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Cleveland, OH, USA, 6–9 August 2017.
- [15] Puangdownreong, D. Optimal PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Controller Design Based on Spiritual Search for Wind Turbine Systems. Int. J. Innov. Comput. Inf. Control 2019, 15, 2259–2273.
- [16] Tytiuk, V.; Chorny, O.; Baranovskaya, M.; Serhienko, S.; Zachepa, I.; Tsvirkun, L.; Kuznetsov, V.; Tryputen, N. Synthesis of a Fractional-Order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup>-controller for a Closed System of Switched Reluctance Motor Control. Ind. Control Syst. 2019, 2, 35–42. [CrossRef]
- [17] Mohammed, R. Quadrotor Control Using Fractional-Order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Control. JACET 2019, 5, 1–10.



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

E-mail: [oa0\\_nips@bk.ru](mailto:oa0_nips@bk.ru)

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



**Александр Ляпидевский** -  
Кандидат экономических наук,  
директор Новосибирского  
института программных систем,  
автор около 100 научных статей.  
Область научных интересов и  
компетенций - программные  
системы и инструменты,  
инновационные технологии.

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

Россия, Новосибирск, 630090,  
просп. Ак. Лаврентьева 6/1. НИПС.

Статья поступила 08.07.2022.

## On Possible Causes of Incorrect Modeling of Locked Dynamical Systems

V.A. Zhmud<sup>1,2,3</sup>, A.V. Liapidevskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Institute of Program Systems, Russia

<sup>2</sup>Institute of Laser Physics SB RAS, Russia

<sup>3</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the RAS

*Abstract:* Sometimes, when modeling locked-loop control systems, researchers make mistakes, in which case the simulation results cannot be trusted. It may not show up at all. One of the reasons that modeling errors will not be revealed may be that the paper did not arouse anyone's interest, even the authors themselves do not intend to use its results. This, unfortunately, happens when a paper is written only for the sake of the fact of publication. In this case, invented objects are used for modeling, with models that do not correspond to any real object. No one is going to check in practice the performance of the calculated regulators. Another reason may be overly ideal modeling, which does not make a difference between a realistically possible simulation of the operation of a system using signal transformation, and purely mathematical operations that do not use the determination of estimates of derivatives from their signals, but the ideal derivatives of signals based on knowledge of the mathematical models of used signals. It cannot be ruled out that in some cases the reasons for errors are the lack of competence of the authors. In any case, it is useful to deal with such examples of insufficiently careful modeling and publication of papers claiming achievements that the researchers did not actually receive. In one article, of course, it is impossible to deal in detail with all the erroneous publications, even in one very narrow area, but even individual examples can serve to restore the scientific approach. This paper analyzes some typical errors in modeling locked dynamic systems and in designing a controller for them. The paper may be useful not only for students and graduate students, but also for some teachers in the subject "Theory of automatic control" in the course "Control in technical systems".

*Key words:* PID controller, nonlinear plant, simulation, robust system optimization, MATLAB, Simulink, VisSim.

### REFERENCES

- [1] G.A. Frantsuzova. Robust Systems Synthesis with PI2D-controller for Nonlinear Objects with Variable Parameters. *Automatics & Software Engineering*. 2018. № 2 (24). P. 9–16. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-2-2018-1.pdf>
- [2] Wang, Y.; Chen, G. Formalization of Laplace Transform in Coq, 2017 International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), 2017, pp. 13-21, doi: 10.1109/DSA.2017.12.
- [3] Erfani, S.; Ahmadi, M. Fundamentals of generalized Laplace transform techniques for linear time-varying systems, ISSCS 2011 - International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISSCS.2011.5978707.
- [4] Adams, J. L.; Veillette, R. J.; Hartley T. T.; Adams, L. I. Restrictions on the inverse Laplace transform for fractional-order systems, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967367.
- [5] Fulton, D. Explaining complex power, in *IEEE Power Engineering Review*, vol. 19, no. 6, pp. 47-, June 1999, doi: 10.1109/39.768516.
- [6] G.A. Frantsuzova, E.P. Kotova. Calculation and Research of Possibilities of Automatic Control Systems with Standard PID- and Modified PI2D-controller. *Automatics & Software Engineering*. 2017. № 1 (19). P. 10–15. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-1-2017-1.pdf>
- [7] D.O. Tereshkin, V.M. Semibalamut. About Correctness of the Name PI<sup>2</sup>D, PID<sup>2</sup>, PI<sup>2</sup>D<sup>2</sup>, PL and Similar Regulators. *Automatics & Software Engineering*. 2017. № 3 (21). P. 123–134. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2017-12.pdf>
- [8] Podlubny, I. Fractional Order Systems and PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> Controllers. *IEEE Trans. Autom. Control* 1999, 44, 208–214. [CrossRef]
- [9] Dorcak, L.; Terpak, J.; Papajova, M.; Dorcakova, F.; Pivka, L. Design of the fractional-order PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> controllers based on the optimization with self-



- organizing migrating algorithm. *Acta Montan. Slovaca* 2007, 12, 285–293.
- [10] Abraham, A.; Biswas, A.; Das, S.; Dasgupta, S. Design of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers with an Improved Differential Evolution. Available online: [http://www.softcomputing.net/gecco2008\\_abraham.pdf](http://www.softcomputing.net/gecco2008_abraham.pdf) (accessed on 21 January 2022).
- [11] Bettoua, K.; Charef, A. Control quality enhancement using fractional  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller. *Int. J. Syst. Sci.* 2009, 40, 875–888. [CrossRef]
- [12] El-Khazali, R. Fractional-order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller design. *Comput. Math. Appl.* 2013, 66, 639–646. [CrossRef]
- [13] Ranganayakulu, R.; Uday, B.B.; Rao, A.; Patle, D. A comparative study of fractional order  $PI^{\lambda}/PI^{\lambda}D^{\mu}$  tuning rules for stable first order plus time delay processes. *Resour. Effic. Technol.* 2016, 2, 136–152. [CrossRef]
- [14] Pan, Z.; Wang, X.; Hoang, T.; Chen, Y.; Tian, L. Design and Application of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller in Grid-Connected Inverter System. In *Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Cleveland, OH, USA, 6–9 August 2017.
- [15] Puangdownreong, D. Optimal  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller Design Based on Spiritual Search for Wind Turbine Systems. *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control* 2019, 15, 2259–2273.
- [16] Tytiuk, V.; Chorny, O.; Baranovskaya, M.; Serhienko, S.; Zacheva, I.; Tsvirkun, L.; Kuznetsov, V.; Tryputen, N. Synthesis of a Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -controller for a Closed System of Switched Reluctance Motor Control. *Ind. Control Syst.* 2019, 2, 35–42. [CrossRef]
- [17] Mohammed, R. Quadrotor Control Using Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Control. *JACET* 2019, 5, 1–10.



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. Lavrientieva, h. 6/1



**Alexander V. Liapidevskiy**, PhD in Economics, director of the Novosibirsk Institute of Program (Software) Systems, the author of about 100 scientific articles. Area of scientific interests and competences - software systems and tools, innovative technologies.  
E-mail: [nips@nips.ru](mailto:nips@nips.ru)  
Russia, Novosibirsk, 630090, prosp. Ak. Lavrentieva 6/1. NIPS.

The paper has been received on 08/07/2022.

# Тестирование регуляторов по методу локализации на их эффективность

В.А. Жмудь<sup>1,2,3</sup>, А.В. Лятидевский<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН, Россия

<sup>3</sup>Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН

*Аннотация.* Научная школа НГТУ в области управления замкнутыми динамическими системами широко использует и рекламирует метод проектирования регуляторов, основанный на принципе локализации. Этот метод также в некоторых случаях называется методом разделения движений, хотя существуют и другие методы, не связанные с ним ни коим образом, направленные на решение тех же самых задач, носящие сходное название. Регулярно публикуются новые статьи, подтверждающие эффективность методов, основанных на принципе локализации. Данная публикация применяет метод численного моделирования для детального исследования преимуществ, возможных недостатков и ограничения для применения этого метода.

*Ключевые слова:* автоматика, ПИД-регулятор, ПИ<sup>2</sup>Д-регулятор, ПИД<sup>2</sup>-регулятор, ПИ<sup>2</sup>Д<sup>2</sup>, ПЛ-регулятор

## ВВЕДЕНИЕ

Публикации, раскрывающие метод локализации, широко используемый в научной школе по управлению, существующей в НГТУ, основаны на тезисах, изложенных даже в Википедии, вследствие чего их можно считать широко известными [1]. Регуляторы, спроектированные на основе этого принципа, получили название ПЛ-регуляторы. Данная статья ссылается как на первоисточники, где излагается этот метод, на статьи [3], [4], [5]. Пожалуй, самая известная и основополагающая публикация для этого научного направления – это одна из первых (наряду с [2]) наиболее известных из широко цитируемых и наиболее цитируемая из широко известных публикаций на эту тему автора этого принципа [6], остальные публикации, по-видимому, все-таки базируются на изложенных в ней принципах. В профиле основателя этой научной школы можно найти достаточное количество публикаций на эту тему, в том числе и в открытом доступе<sup>3</sup>. Последователи основателя этой школы, причисляющие себя к ней, продолжают публикации на тему применения этого метода [7], [8], [9], [10], [11]. Имеются и статьи с критикой применения этого метода, например, [12]. Однако, критика метода, в частности, на примере статьи [11]. Поскольку в статье [12], на наш взгляд, приведены некоторые структурные преобразования, оправдывающие эту критику, но не приведены достаточно наглядные примеры численного моделирования. Статья [12], подготовленная нашим аспирантом и не без нашей консультации, все же не получила достаточного модельного подтверждения, поэтому, вероятно, эта критика видится недостаточно ясной, а по этой причине она не

несет необходимого созидательного начала. По указанным причинам представляется актуальным осуществить более детальный разбор указанного метода и базового принципа, лежащего в его основе. Тем не менее, публикацию [12] мы можем рекомендовать как предварительную публикацию на эту тему, развитие которой можно осуществить более наглядно с использованием метода численного моделирования. Таким образом, данная статья развивает и продолжает предположения и утверждения, сформулированные в публикации [12], которые состоят в том, что для весьма многих случаев указанный метод проектирования регуляторов не является настолько эффективным и универсальным, как кажется из публикаций представителей этой научной школы, хотя на определенном этапе, по-видимому, этот метод повлиял на развитие теории автоматического управления, ведь в Википедию попадают далеко не все методы проектирования регуляторов.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В целом проблематику синтеза ПИД-регуляторов и чрезвычайно краткий, не самый качественный, но все-таки какой ни на есть обзор далеко не всех известных методов решения этой задачи можно найти в той же самой Википедии [13]. Вместо введения мы рекомендуем ознакомиться с содержанием публикации [13], затем с содержанием статьи [12]. Этот материал полностью предоставляет сведения об актуальности проблемы, о предположении о том, что рассматриваемый метод является универсальным и наиболее эффективным, а также публикация [12] излагает все основания для сомнений в этом тезисе на основании проделанных структурных преобразований,

<sup>3</sup> [https://www.elibrary.ru/author\\_items.asp?authorid=74501](https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=74501)

которые сводят многоконтурную систему к одноконтурной.

Мы же попросту обратимся к проблеме, которая поставлена в публикации [11]. В этой статье рассматривается и решается задача управления динамическим объектом, математическая модель которого имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}. \quad (1)$$

Данный объект – это объект второго порядка. Традиционный способ управления таким объектом – это применение ПИД-регулятора, то есть регулятора, который содержит пропорциональный, интегрирующий и дифференцирующие тракты. Вся задача проектирования ПИД-регулятора в этом случае сводилась бы к отысканию коэффициентов этих трех трактов, при которых замкнутая динамическая система была бы устойчивой, и по возможности желательно, чтобы она обладала достаточным быстродействием и приемлемым качеством. Под качеством понимается отсутствие перерегулирования, колебаний и других нежелательных особенностей переходного процесса [13].

Статья [11] предлагает достаточно сложную структуру регулятора, более сложную, чем традиционный ПИД-регулятор. Правомерен вопрос о том, насколько это целесообразно, и насколько это эффективно.

Постановку задачи мы проигнорируем, поскольку статья содержит единственный пример применения обсуждаемого в ней метода, вот этот пример мы и рассмотрим.

## 2. АНАЛИЗ

Авторы пишут: «Рассмотрим объект, модуль которого представлена следующей передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{1}{p^2 + 2 \cdot p + 1},$$

где  $a_{2ном} = 2$ ,  $a_{1ном} = 1$ . Требования к качеству процессов в системе:  $t_{III} \leq 3с$ ,  $\sigma \leq 10\%$ ,  $\Delta = 0\%$ » [11]. Далее сказано: «Рассмотрим работоспособность системы с ПИД- и ПИ<sup>2</sup>Д-регуляторами для данного объекта. В соответствии с заданными требованиями к качеству процессов в системе выберем следующие корни  $\lambda_1 = -2$ ,  $\lambda_2 = -2,5$ ,  $\lambda_3 = -3$  и сформируем желаемое уравнение:

$$C_{ж}(p) = p^3 + 7,5p^2 + 18,5p + 15 \gg [11].$$

Довольно трудно понять терминологию «желаемое уравнение». Эта терминология весьма неряшлива. Уравнение системы или объекта традиционно связывает входную и выходную величину. Здесь же просто представлен полином от величины  $p$ , которая понимается как символ операции дифференцирования, или в некоторых случаях его можно отождествить с аргументом преобразования Лапласа, который чаще обозначается буквой  $s$ . Полином сам по себе не является уравнением. Если полином приравнять к нулю, получим уравнение, но оно не будет связывать входную и выходную величину, поскольку в уравнении этих величин нет.

Но мы смогли догадаться, о чем идёт речь, предложенный полином описывает левую часть характеристического уравнения, которое должно иметь следующий вид:

$$s^3 + 7,5s^2 + 18,5s + 15 = 0. \quad (1)$$

Здесь и далее мы будем пользоваться в качестве аргумента именно аргументом функции Лапласа  $s$ . В этом случае система должна формировать такой же отклик на входные воздействия, как фильтр первого порядка, а знаменателе которого стоит указанный полином. Для того, чтобы система обладала нулевой ошибкой, свободный член в знаменателе передаточной функции должен совпадать с числителем, то есть передаточная функция, эквивалентная желаемой замкнутой системе, должна иметь следующий вид:

$$W_L(s) = \frac{15}{s^3 + 7,5s^2 + 18,5s + 15}. \quad (2)$$

На *Рис. 1* показан результат моделирования переходных процессов в ответ на единичный ступенчатый скачок исходного объекта и так называемой желаемой системы, имеющего передаточную функцию вида (2).

Далее в статье предлагается ещё один дополнительный внешний контур с интегратором, и показан итоговый переходный процесс. В статье предложена следующая структура регулятора, которая показана на *Рис. 2*.

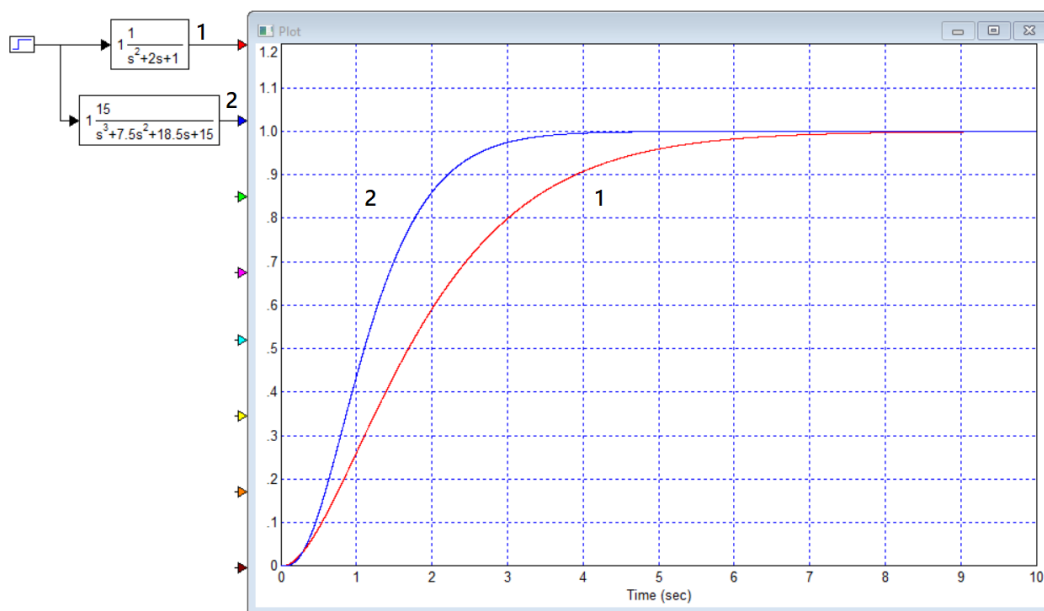


Рис. 1. Результат моделирования переходных процессов в ответ на единичный ступенчатый скачок исходного объекта и так называемой желаемой системы (линия 1), имеющего передаточную функцию вида (линия 2)

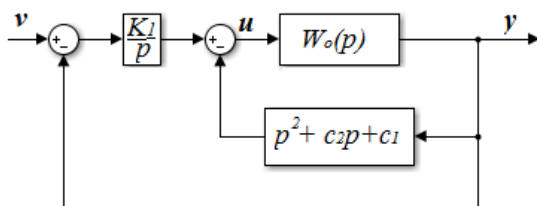


Рис. 2. Структурная схема системы с «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором» из статьи [11]

В статье не указан коэффициент усиления во внешнем контуре, поэтому проверить корректность моделирования достаточно затруднительно. Также в статье приводятся два переходных процесса, один из которых – промежуточный, который назван процессом с ПИ-регулятором, а другой – окончательный который назван «процессом с ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором». Эти процессы показаны на Рис. 3.

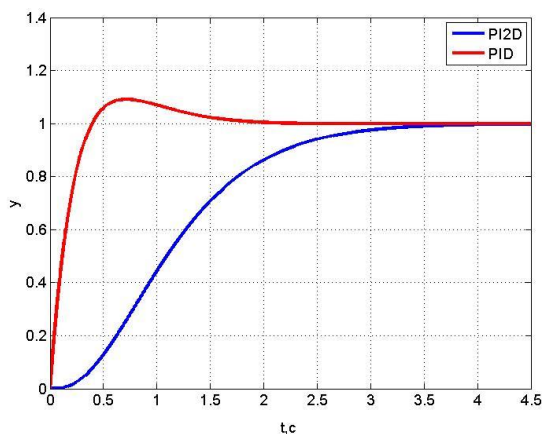


Рис. 3. Переходные характеристики систем с ПИД- и «ПИ<sup>2</sup>Д-регуляторами», согласно статье [11]

Как видим, длительность переходного процесса в предлагаемой системе составляет около 3,5 с. Отметим, что нам не удалось понять, какие конкретно коэффициенты и в какой конкретно структуре регулятора использовались для получения системы по структуре Рис. 2 или какой-либо иной структуре, о которой, предположительно ведётся речь в статье [11]. Не найдена ни полная модель объекта и регулятора, ни структурная схема, которая бы была полностью достаточной и понятной для моделирования.

Нам не удалось создать работоспособную структуру в соответствии с предлагаемой методикой методом достраивания неизвестных компонент на основе здравого смысла или какой-либо теории.

Действительно, по логике изложения статьи можно предположить, по меньшей мере, две структуры, согласно описанию статьи, и совершенно не понятно, какой структуре авторы отдали предпочтение, и по какой структуре они осуществляли моделирование. Обе эти структуры видятся нам необоснованными, в программе для моделирования обе они неработоспособны, то есть обещанный результат ни с одной из них получить невозможно.

Речь идет, во-первых, о структуре, в которой в качестве обратной связи использовался бы в чистом виде ПИД<sup>2</sup>-регулятор, который в статье ошибочно называется «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором», уравнение которого приведено в статье. В таком регуляторе должно быть четыре слагаемых. В статье сказано: «В работе предлагается рассматривать модифицированный ПИ<sup>2</sup>Д-



регулятор, со следующей передаточной функцией:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{И}}}{p} + K_{\text{Д1}}p + K_{\text{Д2}}p^2.$$

Значения коэффициентов для этого регулятора в статье не найдено, структурной схемы с таким регулятором в статье не найдено. И теория регулятора, и попытка моделирования указанного объекта с этим регулятором показывают без каких-либо сомнений, что моделирование системы с этим объектом и с этим регулятором при ненулевом коэффициенте  $K_{\text{Д2}}$  невозможно, система неработоспособна. Дело в том, что в этом случае мы получаем глобальный контур, где в области высоких частот нет затухания логарифмической амплитудно-частотной характеристики, то есть такая система не реализуема физически, устойчивость её по этой причине исследовать невозможно, смоделировать её в реальном программном обеспечении, работающим по шагам, невозможно, моделирование её в программе, которая не использует реального дифференцирования и интегрирования бессмысленно. Поэтому система с таким регулятором работать в реальности не может. Поэтому данное утверждение приходится считать фейком.

Во-вторых, речь может идти о структуре регулятора по схеме, которая представлена на *Рис. 2*, этот рисунок повторяет соответствующий рисунок в статье [11]. В этом случае по тем же самым причинам мы получаем внутренний контур, в котором порядок числителя совпадает с порядком знаменателя, по этой причине с тем же самым обоснованием, что и в предыдущем абзаце, мы можем утверждать, что моделирование или реализация такой системы невозможна, и в этом случае описание такой системы также является фейком.

В-третьих, можно предположить, что в структуре по *Рис. 2* вместо передаточной функции в виде полинома второго порядка  $s^2 + c_2s + c_1$  применяется передаточная функция в виде рациональной дроби, в числителе которой стоит указанный полином, а в знаменателе стоит полином, который стоит в фильтре, который авторами ошибочно называется «дифференцирующим фильтром». Речь идёт об этом фильтре:

$$W_f(p) = \frac{1}{\mu^2 s^2 + 2dsp + 1}. \quad (3)$$

Мы можем сделать такое предположение на основании следующей фразы в статье: «В данной работе предлагается с этой целью применить дифференцирующий фильтр, аналогичный тому, что давно используется в системах, основанных на методе локализации... Его передаточная функция имеет следующий вид:

$$W_f(p) = \frac{1}{\mu^2 p^2 + 2d\mu p + 1} \gg [11].$$

Безусловно, данный фильтр никак не дифференцирующий, он интегрирующий, но если в этом фильтре в числителе ввести указанный в обратной связи полином, тогда такой фильтр можно с некоторой оговоркой назвать «дифференцирующим». В этом случае можно попытаться в структуре по *Рис. 2* вместо полинома второго порядка поставить следующий фильтр:

$$W_f(p) = \frac{s^2 + c_2s + c_1}{\mu^2 s^2 + 2dsp + 1}. \quad (4)$$

Такую структуру смоделировать можно, но контур с предложенным в статье объектом и с таким регулятором в обратной связи оказывается устойчивым с очень специфическими значениями коэффициентов, он неустойчив при значениях коэффициентов, которые указаны в статье. Тем более, следует учесть, что в статье для малого параметра предложено значение  $\mu = 0.0001$ . Поэтому и такая структура регулятора, вероятнее всего, не применялась, поэтому и такой вариант является фейком.

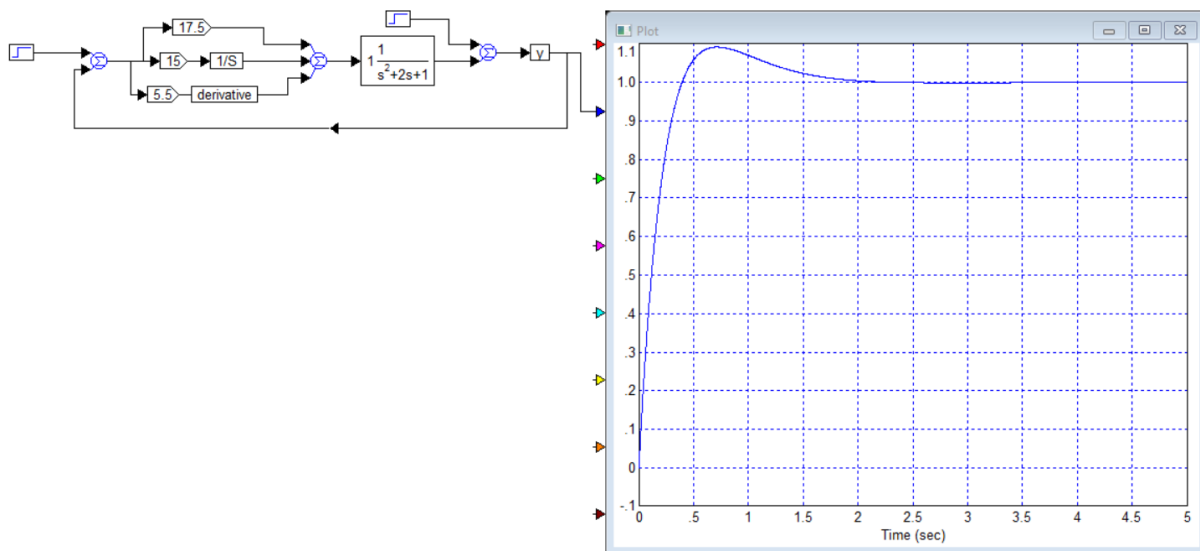
Также трудно понять, какой все-таки набор коэффициентов применялся, поскольку мы в статье [11] находим два варианта реально сообщаемых наборов коэффициентов.

В одном месте сказано: «В соответствии с соотношениями (8) рассчитаны коэффициенты ПИД-регулятора:  $K_{\text{П}} = 17,5$ ,  $K_{\text{И}} = 15$ ,  $K_{\text{Д}} = 5,5$ ». Поскольку структура ПИД-регулятора в статье не приведена, остаётся лишь предположить, что регулятор включается по стандартной структуре. Если наше предположение справедливо, тогда мы можем смоделировать систему с указанными коэффициентами и получить переходный процесс, который совпадает с процессом, показанным в статье (см. *Рис. 3* выше).

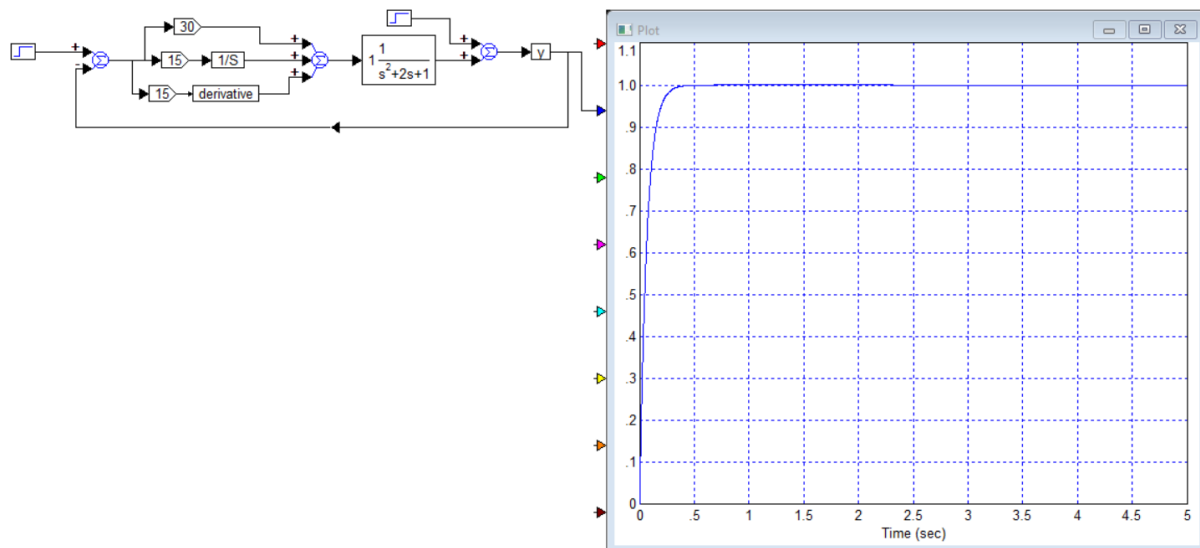
В отношении результата с ПИД-регулятором мы ничего не можем возразить, кроме сомнения в полезности описанной методики. На основании простых правил эмпирического метода настройки регулятора мы легко заключили, что для снижения перерегулирования желательно увеличить коэффициент дифференцирующего тракта, но это привело к одновременному небольшому уменьшению выходного сигнала на интервале от 1 с до 4 с, для компенсации этого эффекта мы немного увеличили коэффициент пропорционального тракта, вследствие чего получили следующие коэффициенты ПИД-регулятора:  $K_{\text{П}} = 30$ ,  $K_{\text{И}} = 15$ ,  $K_{\text{Д}} = 15$ . Полученный переходный процесс показан на *Рис. 5*. Не надо быть большим специалистом по теории автоматического управления, чтобы увидеть, что процесс на *Рис. 5* обладает всеми преимуществами перед процессом на *Рис. 4*. Действительно, этот процесс заканчивается

приблизительно через 0,25 с от начала скачка, перерегулирование отсутствует полностью, тогда как в процессе по *Рис. 4* его длительность в 8 раз больше, присутствует перерегулирование около 10%. В этом случае мы вправе задать вопрос, что за метод, насколько он хорош, если на порядок лучший результат мы смогли получить в три приема? Также имеет смысл сравнить этот процесс с другим процессом, показанным на *Рис. 3*, который также взят из статьи [11], и он соответствует «желаемому

уравнению», о чем сказано выше. Длительность пресловутого желаемого процесса составляет 3,5 с, что в 14 раз больше, чем в процессе на *Рис. 5*, перерегулирование отсутствует в обоих процессах. Получается, что предлагаемый более сложный регулятор позволяет получить систему в 14 раз хуже. Этот факт не украшает анализ полезности метода, а предлагаемые в статье [11] результаты в этом случае видятся совершенно неинтересными.



*Рис. 4.* Результат моделирования предложенного объекта с ПИД-регулятором, описанным в статье [11], подтверждающим приведенный процесс на *Рис. 3*



*Рис. 5.* Результат моделирования предложенного объекта с ПИД-регулятором, полученным в три шага эмпирическим методом настройки

Уж если исследовать целесообразность структуры, в которой регулятор включен в обратную связь, а в прямой связи находится пропорциональный регулятор, тогда для устойчивости такой структуры требуется, чтобы используемый регулятор был ПИД-регулятор,

либо ПД-регулятор, двукратного дифференцирования не требуется. Мы осуществили моделирование такой системы, результат показан на *Рис. 6*. Видно, что легко получается переходный процесс с длительностью переходного процесса, равной 0,2 с. Это в 17,5

раз лучше, чем в предлагаемой системе с пресловутым «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором».

В отношении целесообразности охвата полученной системы дополнительной внешней петлей с интегратором в прямой ветви и с единичной отрицательной обратной связью, как рекомендовано в статье [11], мы также провели соответствующее исследование. Полученная структура с оптимизированным коэффициентом усилителя при интеграторе показана на Рис. 7, там же показаны два вида переходных процессов – ошибка в ответ на ступенчатый скачок задания, а также ошибка в ответ на отрицательный единичный скачок возмущения. Во-первых, видно, что эти отклики по своему виду далеко не совпадают. Это подтверждает наш теоретический вывод, что в таких структурах следует отдельно исследовать отклики на задание и отклики на возмущение. Во-вторых, полученный отклик имеет приблизительно в три раза большую длительность, а также в этом

отклике возникает перерегулирование от 15% до 25%. Это достаточно наглядно показывает, что внешний контур с интегратором в прямой ветви неэффективен. Действительно, и на основании теории можно было бы заранее предположить, что если замышляется двухконтурная система, тогда целесообразно было бы внутренний контур стремиться сделать по возможности близким к звену первого порядка, пусть даже и не с высоким быстродействием, а внешний контур далее делать с ПИД-регулятором. Статья же предлагает с точностью до наоборот: внутренний контур задается таким, чтобы переходный процесс в нем соответствовал системе второго порядка, а внешний контур делается только с И-регулятором. Обоснования для такого подхода не найдено, практика с моделированием доказывает, что в таком случае внешний контур не улучшает, а только лишь ухудшает свойства полученной системы.

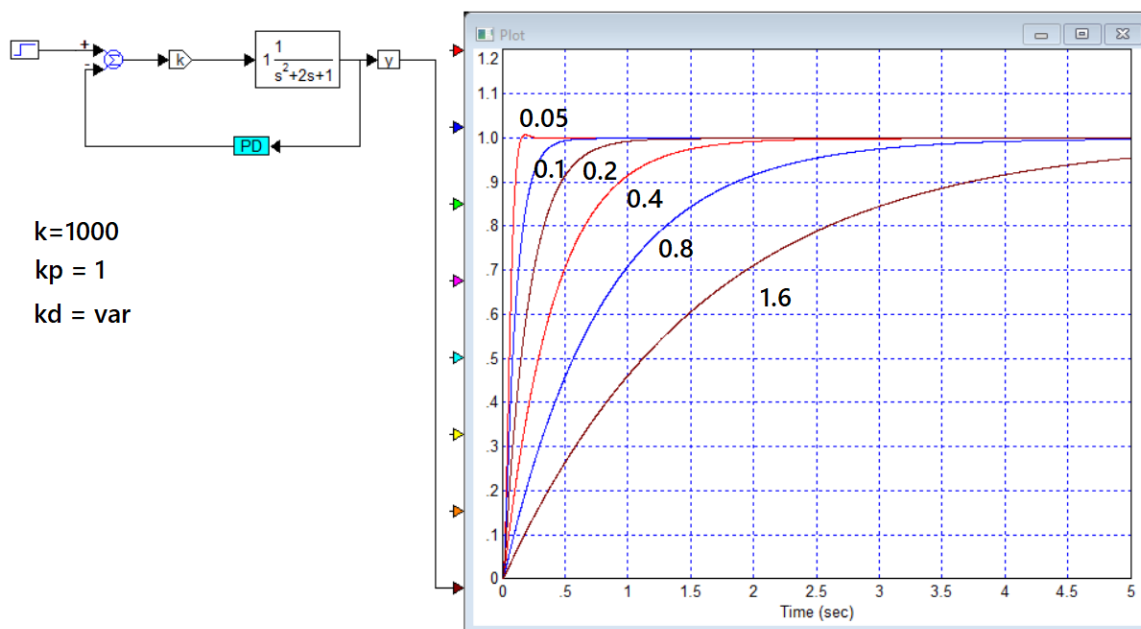


Рис. 6. Результат моделирования предложенного объекта с ПД-регулятором в обратной связи и пропорциональным регулятором в прямой ветви: семейство переходных процессов в зависимости от коэффициента дифференцирующего тракта

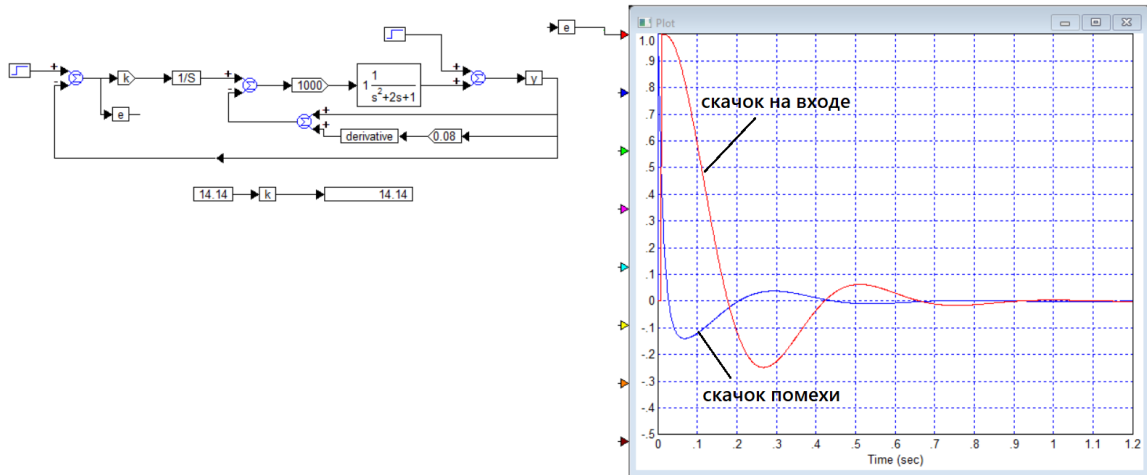


Рис. 7. Результат моделирования предложенного объекта с предложенной двухконтурной системой, а именно: с ПД-регулятором в обратной связи и пропорциональным регулятором в прямой ветви, а также с охватывающей эту субструктуру глобальным контуром с интегратором в прямой ветви и с единичной отрицательной обратной связью: отклики выхода ошибки в ответ на единичный ступенчатый скачок на входе или на отрицательный скачок возмущения

приблизительно  $0.007$  с, перерегулирование практически отсутствует. Отклики ошибки в ответ на единичный скачок на входе системы, и в ответ на отрицательный единичный скачок возмущения полностью совпадают, по результатам моделирования графики сливаются, общий для этих процессов график показан на Рис. 9.

Наконец, мы просто рассчитали методом численной оптимизации регулятор для данного объекта при шаге дискретизации по времени выбранном равным  $\Delta t = 0.001$  с. Получены коэффициенты для регулятора:  $K_D = 800$ ,  $K_P = 400$ . В этом случае полученные результаты показаны на Рис. 8 и на Рис. 9. Длительность переходного процесса составляет

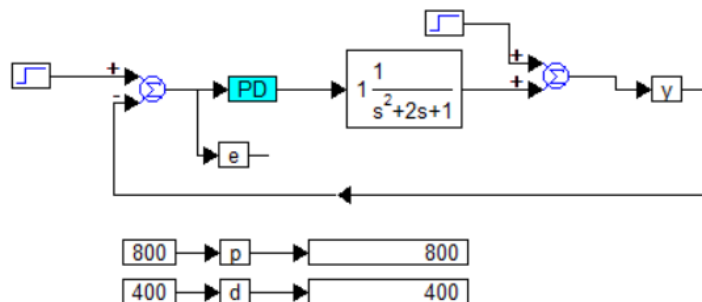


Рис. 8. Альтернативная система: ПД-регулятор с коэффициентами, соответственно,  $k_P = 800$ ,  $k_D = 400$

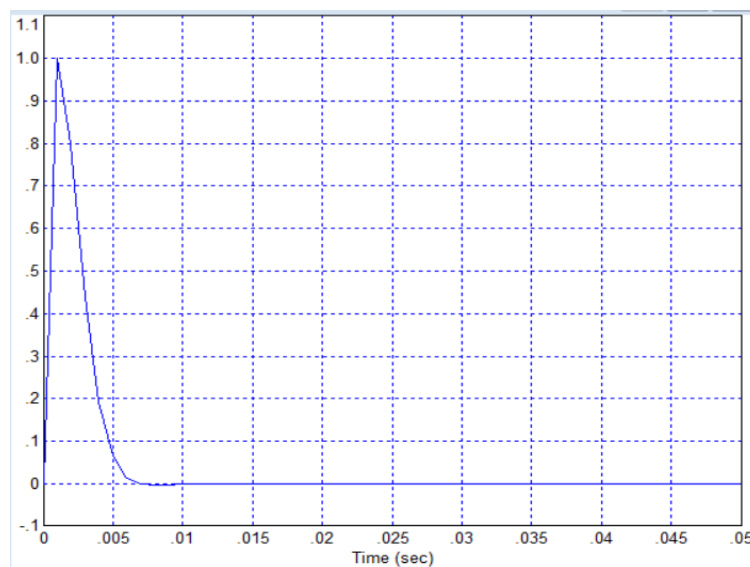




Рис. 9. Отклик ошибки в системе по Рис. 8 при подаче единичного ступенчатого скачка на вход задания, который полностью совпадает с откликом при подаче отрицательного единичного ступенчатого скачка в виде помехи: длительность переходного процесса менее 0.01 с

Рассмотренные результаты позволяют сделать вывод, что публикация [11] не убедила в эффективности предлагаемых в этой статье методик. Мы не распространяем этот вывод на все случаи применения метода локализации. Возможно, что описанные в этой статье методы и результаты не вполне соответствуют базовым принципам методов, мы не берёмся решать этот вопрос. Поскольку статья написана представителем указанной школы НГТУ, возможно, авторы статьи смогут дать объяснения, если их заинтересуют методы и выводы нашей статьи. Опубликование ответов на эту критику, по-видимому, помогло бы найти истину в аргументированной дискуссии, подтвержденной результатами моделирования. Мы бы хотели видеть результаты моделирования в таком виде, когда все используемые модели были бы достаточно ясно представлены, чтобы это моделирование можно было бы воспроизвести самостоятельно любым заинтересованным читателем, с применением любого адекватного программного обеспечения. Мы в этом случае отдаем предпочтение программе *VisSim* по той простой причине, что эта программа не позволяет моделировать такие объекты и структуры, которые не могут быть физически реализованы, например, в случае, когда порядок числителя передаточной функции выше порядка знаменателя (за исключением дифференцирующего усилителя, для которого данная программа делает исключение), все причины этого достаточно детально раскрыты в наших публикациях [14–20], поэтому мы не будем повторять их.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

В учебном пособии для студентов мы уже разъясняли студентам, какие задачи из области теории автоматического управления целесообразно решать, а какие задачи решать попросту нецелесообразно. Задача, решаемая в статье [11], относится к нецелесообразным для решения задачам. Конечно, взгляды одного профессора другой профессор может игнорировать, но это – не лучшее в науке действие. Предпочтительней было бы обсудить на семинаре разногласия в вопросах актуальнейших для данного научного направления, в котором работают коллеги в рамках одной и той же научной школы, в рамках одного и того же подразделения учебного заведения высшего образования (университета). Проще всего игнорировать эти разногласия и делать вид, что альтернативной точки зрения не существует. Но наше мнение изложено в учебной литературе с приведением достаточных обоснований для него.

В частности, задачу проектирования ПИД-регулятора для объекта второго порядка мы причисляем к задаче, которую нецелесообразно решать. Дело в том, что эта задача не имеет оптимального решения. Это в данном случае не означает, что задачу решить трудно, это, наоборот, означает, что задачу решить достаточно просто, но решение обладает следующим свойством: никакое решение не является наилучшим, какое бы хорошее решение этой задачи не было предложено, всегда можно указать другое решение, которое будет ещё лучше. Причина такого свойства этой задачи, как и многих других задач в этой области, которые мы называем некорректно поставленными задачами, состоит в том, что модель излишне идеализирована, она не может соответствовать никакому реальному объекту, и поэтому её решение нецелесообразно.

Приведем простую аналогию.

Допустим, от нас требуется отыскать единственный набор по возможности как можно больших по величине (в сумме) чисел  $x$  и  $y$ , отвечающих следующему условию:

$$\begin{aligned}x + y &> 120, \\x - y &< 40.\end{aligned}$$

Хотя не всякое решение удовлетворяет этому условию, но решений для этой задачи имеется бесконечное множество. Например, в результате каких-либо операций или по каким-то соображениям мы решили выбрать следующее решение:  $x = 100$ ,  $y = 30$ . Нетрудно видеть, что оба требования выполняются. Но имеется ещё оговорка: результаты решения должны быть как можно больше.

Мы можем просто удвоить полученные решения, тогда получим  $x = 200$ ,  $y = 60$ . Эти новые решения являются большими значениями, и они также удовлетворяют поставленному условию. Мы могли бы вместо этого просто добавлять к каждому из полученных решений любую положительную величину, решение также будет соответствовать условиям, а результат также будет больше, чем предыдущее решение. Какое бы мы решение не нашли, всегда можно указать другое решение, которое также соответствует этим ограничивающим неравенствам, и которое при этом больше, чем любое это решение, и данное утверждение справедливо для любого наперед заданного решения. Поэтому если у нас имеется желание найти самое лучшее решение, то есть решение, которое является самым большим, мы никогда не сможем поставить точку в нашем поиске, мы будем двигаться к все большим и большим значениям. Подобную задачу мы относим к классу задач, которые не могут быть окончательно решены методом численной оптимизации. Любое решение мы можем

отыскать в том числе и этим методом, если дополнительно введем ограничение, но наилучшее, то есть оптимальное решение в рамках сформулированных трех требований мы найти не сможем. Именно поэтому мы называем задачу *некорректной для оптимизации* – НДО.

Если бы в условии задачи не требовалось найти самое большое решение, а требовалось бы найти любое решение, которое удовлетворяет заданным неравенствам, тогда после отыскания любого решения мы поставили бы точку. Если бы в условиях задачи было бы какое-то ограничение, которое заставляло бы нас остановиться на каком-то значении, то оптимизация имела бы смысл. Например, если бы имелось условие, что произведение искомым величин не превышает какое-то положительное значение. Такая задача уже стала бы *корректной для оптимизации* – КДО.

Для полноты классификации добавим, что может существовать и неразрешимая задача, например, если она сформулирована как необходимость отыскания переменных, отвечающих двум соотношениям:

$$\begin{aligned} x + y &> 120, \\ 2x + 2y &< 140. \end{aligned}$$

Очевидно, что такая задача не имеет решений, поскольку невозможно отыскать число, которое было бы больше, чем 120, но будучи удвоенным, оказалось бы меньше, чем 140, любое число, которое, будучи удвоенным, меньше, чем 140, должно быть меньше семидесяти. Такой класс задач разумно назвать *неразрешимыми задачами*.

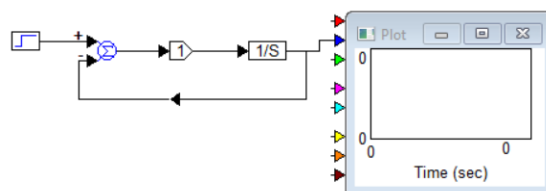
Мы подчеркиваем, что задача отыскания какого угодно ПИД-регулятора для объекта второго порядка в целом разрешима. Задача отыскания ПИД-регулятора с какими-то наперед заданными свойствами также в целом разрешима. Но задача отыскания оптимального ПИД-регулятора для линейного объекта второго порядка является *некорректной для оптимизации*, НДО. Если при постановке задачи заказчики хотят получить какой угодно регулятор, они могут удовлетвориться каким угодно решением. Но как правило наука занимается отысканием либо самого лучшего решения, либо, по меньшей мере, приемлемого решения при условии, что решение задачи не является слишком уж простым. Вряд ли науке следует заниматься решением примитивных задач, решение которых настолько очевидно, что, как говорится, «лежит на поверхности». И уж во всяком случае сомнительно, что результат решения такой задачи имеет смысл публиковать, а методика получения такого результата заслуживает внимания и обсуждения в научной публикации. Самое важное в этом случае состоит в том, что решение *некорректных для оптимизации задач* не имеет никакого практического смысла по той причине, что

нельзя достоверно утверждать, что это решение может быть успешно применено.

Для простоты сначала рассмотрим объект, имеющий модель идеального интегратора:

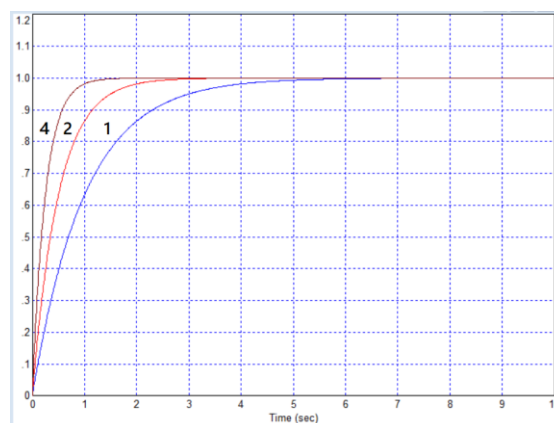
$$W_{01}(p) = \frac{1}{s}. \quad (4)$$

Предположим, что последовательно с объектом используется пропорциональный регулятор, и вся эта последовательность охвачена единичной отрицательной обратной связью. Структура для моделирования такой системы показана на *Рис. 10*. Мы утверждаем, что данный пример является примером НДО, некорректной для оптимизации задачи. При любом коэффициенте усиления данная система остаётся устойчивой, при этом чем больше будет коэффициент усиления, тем лучше будет результат.



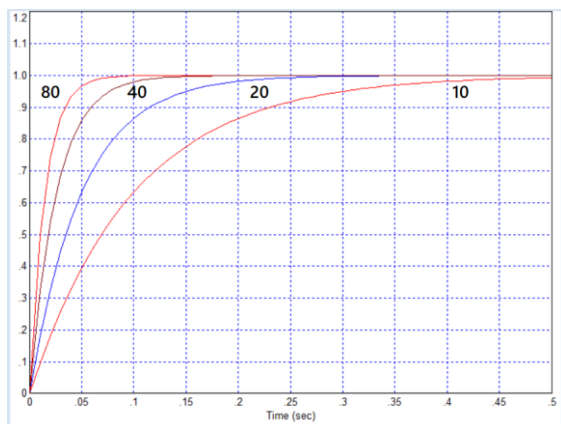
*Рис. 10.* Структура для моделирования объекта в виде идеального интегратора с пропорциональным регулятором

Например, можно рассмотреть семейство переходных процессов, являющихся откликом на единичное ступенчатое входное воздействие. При этом если применить коэффициент усиления, равный единице, переходный процесс будет иметь экспоненциальный вид и длиться приблизительно 6 с. Если этот коэффициент удвоить, получив  $k = 2$ , длительность переходного процесса снизится до 3 с, если ещё раз удвоить этот коэффициент, получив  $k = 4$ , длительность переходного процесса ещё в два раза сократится до значения 1,5 с, как показано на *Рис. 11*.

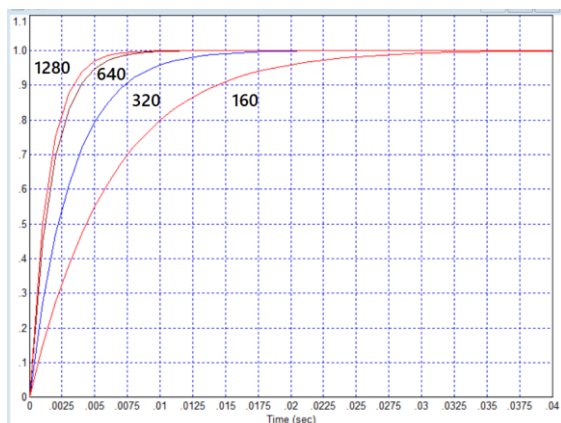


*Рис. 11.* Переходные процессы в структуре по *Рис. 10* при различных значениях коэффициента (значения указаны на графике рядом с соответствующими линиями)

Увеличение коэффициента можно продолжать до бесконечности, при этом длительность переходного процесса будет всё меньше и меньше, как, например, на *Рис. 12* и *Рис. 13*.



*Рис. 12.* Переходные процессы в структуре по *Рис. 10* при различных значениях коэффициента (продолжение)



*Рис. 13.* Переходные процессы в структуре по *Рис. 10* при различных значениях коэффициента (продолжение)

Этот процесс увеличения коэффициента усиления можно продолжать до бесконечности. Можно поставить задачу обеспечения сколь угодно высокого быстродействия, с идеальной моделью объекта (4) недостижимого значения для быстродействия не существует. При моделировании, например, в программе *VisSim* мы лишь должны привести в соответствие шаг дискретизации. Разумеется, если, например, шаг дискретизации равен 0,001 с, то мы не сможем при этих условиях моделирования обеспечить длительность переходного процесса за время, меньшее чем некоторое относительно большое количество шагов. Например, мы не сможем с таким шагом получить переходный процесс длительностью 0,002 с, но если достаточно уменьшить этот шаг, то мы сможем получить и такой процесс и сколь угодно более быстрый.

Этим свойством обладает только идеальная математическая модель и система с этой идеальной математической моделью, но этим свойством никогда не обладает и не может обладать никакой реальный объект и никакая реальная система.

В идеальной модели мы выбираем не просто наиболее простую форму передаточной функции, соответствующую с достаточной степенью точности фактическому переходному процессу, но при выборе подобного математического описания мы при этом выбираем и наиболее «счастливое сочетание», наиболее «благоприятный вид» передаточной функции, а именно: убедившись, что в некоторой ограниченной области частот передаточная функция затухает обратно пропорционально значению частоты, а сдвиг фаз постоянен и равен  $90^\circ$ , мы полагаем, что такой вид передаточной функции сохраняется до бесконечных частот. В предположении такого замечательного вида передаточной функции объекта мы получаем замечательные его свойства. Мы предполагаем в этом случае, что на сколь угодно больших частотах объект имеет отклик на входной сигнал. Этого на практике не бывает никогда, это невозможно. Двигаясь по логарифмической оси частот в сторону всё больших и больших значений, мы с каждой новой декадой попадаем в область, где частоты в 10 раз выше, чем в предыдущей декаде. Даже если мы начинаем с области 0,001 Гц, через 3 декады мы попадаем в область 1 Гц, еще через 6 декад мы будем уже в области 1 МГц, что соответствует сверхвысоким частотам (СВЧ), ещё через 3 декады мы уже достигнем области 1 ГГц, то есть сверх-сверх высокие частоты (ССВЧ), ещё через 3 декады мы уже попадаем в область оптических частот, электрические сигналы этой частоты не распространяются по проводникам электрического тока в принципе. Ни один объект не может иметь отклика на этих частотах, если это не светоизлучающий элемент, но и светоизлучающий элемент не имеет отклика на тех частотах, которые соответствуют рентгеновскому излучению и так далее.

Кроме того, в любом физическом объекте обязательно присутствует запаздывание: как минимум, это время, требуемое на прохождение электрического сигнала по всей цепи. Допустим, что длина этого тракта между входом и выходом составляет всего лишь 1 см. Даже электрический сигнал не может распространяться быстрее, чем скорость света в вакууме, то есть за одну наносекунду свет пролетает только 30 см, на преодоление расстояния в 1 см свету потребуется 33 пс. Эти тридцать три пикосекунды на каждый сантиметр составляют минимальное запаздывание сигнала для всех случаев. Поэтому ни один объект нельзя называть объектом, в котором запаздывание отсутствует в принципе, так как оно имеется во

всех объектах. Если нет никаких других причин для того, чтобы частотная характеристика затухала в этой области частот, то указанных причин достаточно: во-первых, имеется запаздывание  $33 \text{ мс/см}$ , во-вторых, на частотах, когда электрический сигнал превращается в оптический, отклика не может существовать ни в каком объекте с электрическим выходом. Но имеются, как правило, и другие, более существенные причины для того, чтобы частотная характеристика уменьшалась гораздо быстрее, чем по зависимости (4), и намного раньше, чем при достижении ССВЧ-частот. Именно по этой причине имеется существенное различие между поведением идеальной модели объекта с ростом коэффициента усиления и поведением реального объекта в тех же условиях. Идеальный объект с идеальной моделью (4) ведёт себя следующим образом: никакое увеличение коэффициента усиления, сколь бы большим оно ни было, никогда не может вызвать нарушения устойчивости системы с таким объектом по структуре, показанной на *Рис. 10*. С реальным объектом всегда имеется другое непреложное правило: сколь бы идеальной не казалась математическая модель объекта, ни один реальный объект не может сохранять свою устойчивость в структуре по *Рис. 10* при сколь угодно большом коэффициенте усиления: всегда найдётся такой коэффициент усиления, при котором такая система станет неустойчивой, следовательно, неработоспособной.

Рассмотренная проблема возникает в том случае, если порядок полинома, описывающего петлю системы в разомкнутом виде, это первый порядок.

Если этот порядок – второй, тогда система при бесконечном увеличении коэффициента усиления может быть выведена на границу устойчивости, но все-таки она не становится неустойчивой. Такое идеальное свойство идеализированного объекта также не соответствует никакому реальному объекту и никакой реальной системе.

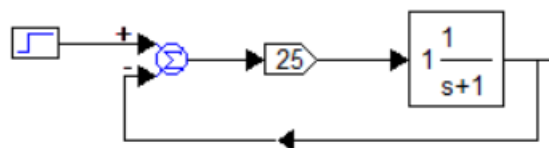
Если модель разомкнутого контура описывается третьим порядком или более высоким порядком, либо если в этом модели содержится звено запаздывания, тогда коэффициент усиления в таком контуре нельзя повышать бесконечно, не нарушая устойчивость. Даже с объектом с идеальной моделью третьего порядка или с идеальной моделью любого порядка, содержащей звено запаздывания увеличение коэффициента усиления не может до бесконечности улучшать свойства замкнутой системы, рано или поздно наступит такая ситуация, когда в системе начнет возрастать перерегулирование, а далее система просто станет неустойчивой. Это свойство обязательно присутствует в любой реальной системе с реальным объектом.

По этой причине модель третьего порядка или модель с запаздыванием может в составе системы автоматического управления утратить устойчивость по тем же самым причинам, по которым устойчивость утрачивает реальный объект. В этом случае мы можем говорить, что принятая для проектирования регулятора модель, адекватна реальному объекту и адекватна поставленной задаче проектирования регулятора.

В тех случаях, когда система с идеализированной моделью объекта с данным видом регулятора остается устойчивой, тогда как система с реальным объектом и таким же регулятором утрачивает устойчивость, следует признать, что такая модель неадекватна задаче, поскольку она не описывает тех условий, при которых устойчивость в системе с реальным объектом утрачивается.

Таким образом, мы можем заключить, что модель объекта в виде идеального интегратора вида (4) является неадекватной формой описания объекта даже в том случае, если предполагается проектировать пропорциональный регулятор.

По этим же самым причинам модель объекта в виде звена первого порядка является неадекватной моделью во всех случаях постановки задачи проектирования регулятора. В частности, на *Рис. 14* показана модель системы с объектом первого порядка, а на *Рис. 15* показаны переходные процессы в этой системе при различных коэффициентах усиления.



*Рис. 14.* Структура для моделирования объекта в виде идеального звена первого порядка с пропорциональным регулятором

Но если модель объекта задана уравнением второго порядка, а используемый регулятор – пропорциональный, тогда при бесконечном увеличении коэффициента в системе установятся незатухающие колебания. С ростом коэффициента эти колебания будут увеличивать свою частоту.

Но хотя это и не соответствует никакому реальному объекту, это уже не является столь существенной проблемой, поскольку при оптимизации системы незатухающие колебания являются нежелательным явлением. Следовательно, ещё до того, как в модели системы появятся эти колебания, поисковая процедура не будет увеличивать далее коэффициент усиления, она остановится на некотором оптимальном значении, при котором свойства системы будут наилучшими. Оптимальность можно понять в таком смысле, что если коэффициент уменьшать, тогда процесс



будет становиться более медленным, то есть ухудшаться; если же коэффициент увеличивать, то будет возрастать перерегулирование, то есть система также будет ухудшаться. Следовательно, выбранный коэффициент будет сообщать системе наилучшие свойства.

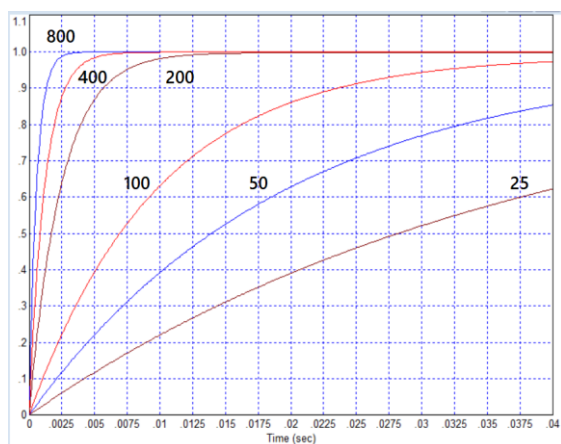


Рис. 15. Переходные процессы в структуре по Рис. 14 при различных значениях коэффициента (значения указаны на графике рядом с соответствующими линиями)

Для понимания дальнейших рассуждений следует ввести понятие «асимптотический порядок» передаточной функции, описывающей модель или в целом весь разомкнутый контур системы. Если в исследуемой передаточной функции положить  $s \rightarrow \infty$ , тогда всеми членами в любом полиноме можно пренебречь в сравнении с членом старшего порядка в этом полиноме. Оставшаяся передаточная функция будет описывать поведение частотной характеристики в области самых больших частот. Это означает, что если в системе сделать достаточно большой коэффициент усиления, тогда эта характеристика будет приблизительно совпадать с характеристикой объекта, описываемого только коэффициентом и множителем  $s$  в некоторой положительной или отрицательной степени. Степень этого множителя можем обозначить  $r$ , и эту степень мы будем называть асимптотической степенью передаточной функции. Если передаточная функция имеет вид дроби, в числителе которой стоит полином степени  $m$ , а в знаменателе – полином степени  $n$ , тогда асимптотическая степень такой передаточной функции равна  $r = m - n$ . Так асимптотическая степень модели первого порядка равна минус единица. Асимптотическая степень дифференцирующего устройства равна плюс единица. Соответственно, асимптотическая степень ПИД-регулятора также равна плюс единица. Действительно, рассмотрим передаточную функцию ПИД-регулятора:

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{И}}}{s} + K_{\text{Д}}s =$$

$$= \frac{K_{\text{П}}s + K_{\text{И}} + K_{\text{Д}}s^2}{s}. \quad (5)$$

Если оставить в полиноме в числителе только старший член, после чего сократить  $s$  в числителе и знаменателе, то получим:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} W_{\text{ПИД}}(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} (K_{\text{Д}}s). \quad (6)$$

Поскольку при последовательном соединении блоков передаточные функции перемножаются, следовательно, асимптотический порядок произведения отдельных передаточных функций является суммой асимптотических порядков сомножителей.

В соответствии с этим асимптотический порядок ПИД<sup>2</sup>-регулятора, называемого в статье [11] «ПИ<sup>2</sup>В-регулятором», равен двум:

$$W_{\text{ПИД}^2}(s) = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{И}}}{s} + K_{\text{Д}1}s + K_{\text{Д}2}sp^2. \quad (7)$$

В пределе в (7) остаётся только старший член.

Итак, на основании рассмотренных утверждений, не требующих дополнительных доказательств, система, содержащая петлю, составленную из последовательного соединения ПИД-регулятора и объекта второго порядка, является системой с асимптотическим порядком разомкнутого контура, равным минус единице. Оптимизация такой системы бессмысленна, найденная настройка регулятора будет зависеть только от того, на каком конкретном значении разработчик решит остановиться. Один разработчик может найти коэффициенты, при которых, например, быстродействие системы будет составлять 1 с, другой разработчик остановится на быстродействии в 10 или в 100 или в 1000 раз большим, всё это совершенно случайно, результат будет определяться случайным фактором или случайным выбором метода проектирования. Для практического объекта результат, полученный случайно, может оказаться либо недостаточно хорош, либо слишком хорош. В первом случае получим результат, который ещё можно улучшить. Во втором случае получим результат, который невозможно получить на практике. В обоих случаях результат не достоин рассмотрения.

Если же для объекта второго порядка применять ПИД<sup>2</sup>-регулятор, называемый в статье [11] ошибочно «ПИ<sup>2</sup>Д-регулятором», тогда асимптотический порядок полученной системы будет нулевым. Система с нулевым порядком не может быть смоделирована в программном обеспечении, осуществляющем моделирование по шагам. А при моделировании такой системы с помощью точных математических вычислений может оказаться, что такая система устойчива и имеет бесконечную полосу частот. Это равносильно тому, чтобы исследовать на устойчивость контур, содержащий только дифференцирующее звено с коэффициентом. Эта задача не

соответствует никакой практической задаче, это также задача, относящаяся к классу НДО – *некорректная для оптимизации* задача.

В случаях, когда мы получаем НДО-задачу для традиционного регулятора, например, для ПИД-регулятора, нам следует уточнить модель объекта, добавив в неё те элементы, которые ответственны за затухание с более высокой степенью, или за увеличение запаздывания более чем на  $180^\circ$ . Если для модели объекта, которая может оказаться корректной для традиционного регулятора, например, ПИД-регулятора, мы пытаемся спроектировать регулятор более высокого порядка, т.е. с большим значением  $r$ , тогда мы задачу КДО превращаем в задачу НДО, чем обесцениваем наши исследования. Попытка отыскания ПИД-регулятора для объекта второго порядка – это уже бессмысленная задача, НДО-задача. Но если в эту задачу вводится регулятор с ещё большим значением асимптотического порядка, это усугубляет проблему. Любое полученное решение будет бессмысленным даже при использовании ПИД-регулятора, а при использовании регулятора более высокого порядка – тем более. Таким образом, публикация [11] при той постановке, которая в ней имеется (управление объектом второго порядка без запаздывания) и при выбранной методике её решения (проектирование ПИД-регулятора или регулятора с более высокой степенью дифференцирования), не могла быть не фейковой, она в любом случае содержит результаты, которые не могут быть применены на практике.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нам бы хотелось протестировать метод, используя достоверные результаты, опубликованные с указанием всех данных для того, чтобы мы могли безошибочно смоделировать системы. Для этого желательно было бы в статьях найти полностью структуры или модели объектов со всеми численными значениями всех коэффициентов, а также все структуры или модели регуляторов, без каких-либо недомолвок, намеков. Нам не хотелось бы заниматься угадыванием идей, которые не освещены достаточно полно для того, чтобы понять, как ими воспользоваться, и, по меньшей мере, чтобы проверить их работоспособность хотя бы на том единственном примере, который, как правило, имеется в публикации (не более того). В случае, когда даже с единственным примером объекта статья не раскрывает в достаточной степени структуру регулятора, всякая попытка проверки этих результатов наталкивается на неразрешимые проблемы. В некоторых случаях нам приходится усомниться в том, что статья сообщает фактически полученные результаты, поскольку в предлагаемых структурах, как мы сумели их понять и восстановить, в некоторых случаях вид процесса не совпадает настолько,

что такие контуры оказываются попросту неустойчивыми, либо не могут быть смоделированы вследствие системной ошибки (структура является не реализуемой физически). Таким образом, данная статья не даёт данных, на основании которых мы могли бы согласиться с эффективностью описанных технических решений в области синтеза регуляторов на основе принципа локализации. По-видимому, данные проблемы характеризуют не сам принцип, а его конкретные примеры применения конкретными представителями обсуждаемой научной школы. Данная статья направлена на выяснение истины и приглашает всех возможных оппонентов к дискуссии.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_локализации](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_локализации)
- [2] Utkin V. I. Control systems with decoupling motions / V. I. Utkin, A. S. Vostrikov // Preprints of 7-th kongress IFAC. Helsinki (Finland), 1978. 1978. Vol. 2., p.967-973.
- [3] Востриков А. С. Синтез систем регулирования методом локализации: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 252 с.
- [4] Востриков А. С. Проблема синтеза регуляторов для систем автоматизации: состояние и перспективы. Автоматика, 2010. №2, том 46. С. 3–19.
- [5] Востриков А.С., Воевода А.А., Жмуд В.А. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2005. № 3 (21). С. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [6] Востриков А.С. Принцип локализации в задаче синтеза систем автоматического управления. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1988. № 2. С. 42. [https://www.elibrary.ru/author\\_items.asp?authorid=74501](https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=74501)
- [7] Zhmud' V.A. Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>
- [8] V.A. Zhmud, A.A. Voevoda, A.S. Vostrikov. Control of Linear Dynamic Objects by the Method of Division of Motions. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). С. 88–103.
- [9] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, A.S. Vostrikov. Method of Division of Motions for Control of Multi-Channel Linear Dynamic Objects. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). С. 104–111.
- [10] V.A. Zhmud, A.A. Voevoda, A.S. Vostrikov. Examples of the Use of Method of Division of Motions in Practice. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). С. 112–120.
- [11] Г.А. Французова, Е.П. Котова. Расчёт и исследование возможностей систем автоматического управления с типовым ПИД-регулятором и модифицированным ПИД-регулятором. Автоматика и программная инженерия. – 2017. – № 1 (19). – С. 10–15. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-1-2017-1.pdf>

- [12] Д.О. Терешкин, В.М. Семибаламут. О корректности терминологии и корректности использования ПИ<sup>2</sup>Д, ПИД<sup>2</sup>, ПИ<sup>2</sup>Д<sup>2</sup>, ПЛ и подобных регуляторов. Сибирское отделение геофизической службы СО РАН, Новосибирск Россия. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 3 (21). С. 123–134. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2017-12.pdf>
- [13] <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор>
- [14] Жмудь В. А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления: учеб. пособие для академического бакалавриата / В. А. Жмудь. - 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2017. 126 с. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [15] Жмудь В. А. Системы автоматического управления высшей точности: учеб. пособие / В. А. Жмудь, А. В. Тайченачев. – Новосибирск.: Изд-во НГУ, 2016. 133 с. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [16] Автоматизированное проектирование систем управления.: учеб. пособие / Новосибирск, 2012: учеб.-метод. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 72 с.
- [17] Жмудь В. А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim.: учеб. пособие / Новосиб. гос. техн. ин-т. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2012.: учеб. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 124 с.
- [18] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. - 126 p
- [19] Жмудь В. А. Численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim: новые структуры и методы: монография / В. А. Жмудь. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2016. - 252 с. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [20] Zhmud' V.A Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

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

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



**Александр Ляпидевский** - Кандидат экономических наук, директор Новосибирского института программных систем, автор около 100 научных статей. Область научных интересов и компетенций - программные системы и инструменты, инновационные технологии.

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

Россия, Новосибирск, 630090, просп. Ак. Лаврентьева 6/1. НИПС.

Статья поступила 12.07.2022.

## Testing of Effectiveness of the Regulators by the Method of Localization

V.A. Zhmud<sup>1,2,3</sup>, A.V. Liapidevskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Institute of Program Systems, Russia

<sup>2</sup>Institute of Laser Physics SB RAS, Russia

<sup>3</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the RAS

*Abstract:* The scientific school of NSTU in the field of control of closed dynamic systems widely uses and advertises the method of designing regulators based on the principle of localization. This method is also in some cases called the method of separation of movements, although there are other methods that are not related to it in any way, aimed at solving the same problems, bearing a similar name. New articles are published regularly, confirming the effectiveness of methods based on the principle of localization. This publication uses a numerical simulation method to explore in detail the advantages, possible disadvantages and limitations for the application of this method.

Keywords: automation, PID controller, PI<sup>2</sup>D controller, PID<sup>2</sup> controller, PI<sup>2</sup>D<sup>2</sup>, PL controller.

### REFERENCES

- [1] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_локализации](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_локализации)
- [2] Utkin V. I. Control systems with decoupling motions / V. I. Utkin, A. S. Vostrikov // Preprints of 7-th kongress IFAC. Helsinki (Finland), 1978. 1978. Vol. 2., p.967-973.
- [3] Vostrikov A. S. Sintez sistem regulirovaniya metodom lokalizatsii: Monografiya. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2007. 252 s.
- [4] Vostrikov A. S. Problema sinteza regulatorov dlya sistem avtomatiki: sostoyaniye i perspektivy. Avtometriya, 2010. №2, tom 46. С. 3–19.
- [5] Vostrikov A.S., Voyevoda A.A., Zhmud' V.A. Effekt ponizheniya poryadka sistemy pri upravlenii po metodu razdeleniya dvizheniya. Nauchnyy vestnik

- Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. № 3 (21). S. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [6] Vostrikov A.S. Printsip lokalizatsii v zadache sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye. 1988. № 2. S. 42. [https://www.elibrary.ru/author\\_items.asp?authorid=74501](https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=74501)
- [7] Zhmud' V.A. Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. T. 38. № 5. C. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>
- [8] V.A. Zhmud, A.A. Voevoda, A.S. Vostrikov. Control of Linear Dynamic Objects by the Method of Division of Motions. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). C. 88–103.
- [9] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, A.S. Vostrikov. Method of Division of Motions for Control of Multi-Channel Linear Dynamic Objects. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). C. 104–111.
- [10] V.A. Zhmud, A.A. Voevoda, A.S. Vostrikov. Examples of the Use of Method of Division of Motions in Practice. NSTU, Novosibirsk, Russia. Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). C. 112–120.
- [11] G.A. Frantsuzova, E.P. Kotova. Calculation and Research of Possibilities of Automatic Control Systems with Standard PID- and Modified PID-controller. Automatics & Software Engineering. 2017. № 1 (19). P. 10–15. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-1-2017-1.pdf>
- [12] D.O. Tereshkin, V.M. Semibalamut. About Correctness of the Name  $PI^2D$ ,  $PID^2$ ,  $PI^2D^2$ ,  $PL$  and Similar Regulators. Automatics & Software Engineering. 2017. № 3 (21). P. 123–134. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2017-12.pdf>
- [13] <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор>
- [14] Zhmud V. A. Modelirovaniye zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya: ucheb. posobiye dlya akademicheskogo bakalavriata / V. A. Zhmud'. - 2-ye izd., ispr. i dop. - Moskva: Yurayt, 2017. 126 s. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [15] Zhmud V. A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya vysshey tochnosti: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud', A. V. Taychenachev. – Novosibirsk.: Izd-vo NGU, 2016. 133 s. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [16] Avtomatizirovannoye proyektirovaniye sistem upravleniya.: ucheb. posobiye / Novosibirsk, 2012: ucheb. - metod. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 72 s.
- [17] Zhmud V. A. Modelirovaniye i chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim.: ucheb. posobiye / Novosib. gos. tekhn. in-t. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2012.: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 124 s.
- [18] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. – 126 p
- [19] Zhmud V. A. Chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim: novyye struktury i metody: monografiya / V. A. Zhmud. – Novosibirsk.: Izd-vo NGTU, 2016. - 252 s. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [20] Zhmud' V.A. Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. T. 38. № 5. C. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. Lavrientieva, h. 6/1



**Alexander V. Liapidevskiy**, PhD in Economics, director of the Novosibirsk Institute of Program (Software) Systems, the author of about 100 scientific articles. Area of scientific interests and competences - software systems and tools, innovative technologies.  
E-mail: [nips@nips.ru](mailto:nips@nips.ru)  
Russia, Novosibirsk, 630090, prosp. Ak. Lavrentieva 6/1. NIPS.

The paper has been received on 12/07/2022.



## Управление нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями

А. Асет<sup>1</sup>, М.Е. Мансурова<sup>2</sup>, В.А. Жмудь<sup>3, 4, 5</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>АО «Новосибирский институт программных систем», Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>5</sup>Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН, Новосибирск, Россия

*Аннотация.* Управление нелинейными объектами приобретает всё большую актуальность. Наиболее эффективен для этих целей метод численной оптимизации. Проверка результата по отклику полученной системы на единичное ступенчатое воздействие, часто практикуемое при проектировании систем управления линейными объектами, зачастую применяется и к системам управления нелинейными объектами, что является ошибкой. Данная статья демонстрирует, что даже в случае успешного управления, демонстрируемого с таким тестовым сигналом, система может обладать недостаточным качеством при обработке сигналов другой амплитуды. Поэтому необходима проверка устойчивости системы и качества переходного процесса, включая точность, перерегулирование, отсутствие колебаний в существенно более широком диапазоне сигналов задания. Показано, что результат оптимизации существенно зависит от вида и амплитуды сигналов, используемых в качестве тестового задания во время процедуры оптимизации. Выяснено, что система может оказаться неустойчивой в малом, т.е. при малых ненулевых сигналах система может оказаться склонной к колебаниям. Также показано, что система, которая по многим проверочным сигналам демонстрирует себя как достаточно высококачественная, может проявлять недопустимо плохое качество, включая автоколебания большой амплитуды в качестве отклика на сигнал, который сначала скачком нарастает из нулевого состояния в ненулевое, а затем скачком возвращается обратно в нулевое состояние. Впервые предложено использовать именно такой наиболее сложный для некоторых видов нелинейных систем сигналов в качестве тестового на время выполнения процедуры численной оптимизации. Показано, что в этом случае получается наилучшая из возможных настройка ПИД-регулятора, такая система существенно подавляет даже шумы со средним нулевым, тогда как система, оптимизируемая по ступенчатому скачку, в таких условиях переходит в состояние автоколебаний с существенной по величине амплитудой.

*Ключевые слова:* автоматика, ПИД-регулятор, управление, нелинейный объект, численная оптимизация, моделирование, стоимостная функция

### ВВЕДЕНИЕ

Управление объектами с помощью отрицательной обратной связи актуально во многих областях науки и техники, поскольку лишь такое обеспечивает высокую точность. Развитие робототехники, технологий производства, включая сложные конвейерные линии, интернета вещей и технологий умного дома и умного города ставит задачи управления все более и более сложными объектами. Задачи управления линейными динамическими объектами в целом могут быть решены очень многими способами достаточно эффективно. Для этого могут быть применены аналитические методы и численные методы. Задача управления нелинейными объектами более успешно может быть решена именно численными методами, поскольку применение аналитических методов невозможно, либо требует таких кардинальных упрощений математической модели, что решение такой излишне упрощенной задачи не имеет никакого прикладного значения, поскольку рассчитанные регуляторы в случае их использования с реальной моделью, дают совершенно не те свойства системы, которые ожидаются в результате проектирования.

Поэтому проектирование регуляторов для нелинейных моделей целесообразно осуществлять именно методами численной оптимизации.

Даже в случае использования методом численной оптимизации результат моделирования может не совпасть с фактическим результатом использования рассчитанного регулятора вследствие того, что какие-то важные особенности модели реального объекта не были учтены при создании его математической модели, которая далее применялась для численной оптимизации. Особенно важно учитывать все особенности модели в тех случаях, когда объект существенно не линеен.

К существенным характеристикам нелинейности следует отнести, прежде всего, неоднозначные характеристики, такие как гистерезис, а также характеристики типа «зона нечувствительности». Ещё один вид существенных нелинейностей – это нелинейные обратные связи. Этот вид также делает объект весьма склонным к возбуждению, в некоторых случаях модель объекта может оказаться настолько сложной, что управлять таким объектом не представляется возможным с

использованием известных методов проектирования регуляторов.

Все же можно назвать примеры таких математических моделей объектов, которые позволяют получить достаточно высококачественный переходный процесс, однако, вследствие нелинейности, такой процесс обеспечивается далеко не для всех вариантов управляющих или возмущающих воздействий.

Данная статья исследует зависимость переходных процессов от амплитуды входного сигнала и предлагает метод отыскания удовлетворительного решения. Демонстрация предлагаемого метода осуществлена на примере объекта, взятого из литературного источника, в котором осуществлены некоторые модификации его модели, поскольку без таких модификаций объект остается неуправляемым, как показало исследование. Во всяком случае, на современном этапе развития теории автоматического управления примеров эффективного управления таким объектом, которые не были бы фейком и могли бы быть подтверждены.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим нелинейный объект из публикации [1]

$$\ddot{y} = -a_1|y|\dot{y} - a_2|y|y + b(t)u + M(t). \quad (1)$$

Здесь  $t$  – время,  $y$  – выходной сигнал объекта,  $\dot{y}$  – его первая производная по времени,  $\ddot{y}$  – его вторая производная по времени,  $u$  – сигнал управления, подаваемый на вход, который мы можем формировать по своему желанию, исходя из результатов измерения выходного сигнала,  $M(t)$  – неизвестное и не контролируемое возмущение, поступающее на объект, приложенное к его выходу,  $a_1$  и  $a_2$  – постоянные известные коэффициенты, в частности,  $a_1 = 5$ ,  $a_2 = 2$ . Выбор конкретных значений коэффициентов не столь важен, поскольку если метод работает для одного набора параметров модели объекта, его можно попытаться применить и для другого набора объектов. Мы не ставим задачу управления нестационарным объектом или объектом с неточно известными параметрами, поскольку указанный вид уравнения уже содержит две нелинейности, каждая из которых относится к классу достаточно сложных, поскольку это – нелинейная обратная связь.

Ставится задача проектирования такого регулятора, который обеспечит как можно более качественную систему автоматического управления.

#### УТОЧНЕНИЯ К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ

Под понятием качества понимаются: устойчивость, быстродействие, малое перерегулирование, отсутствие колебаний, соответствие диапазона входных сигналов требуемому. В случае нелинейного объекта даже самое последнее в списке требований не является менее важным, чем любое другое требование. Если все показатели качества переходного процесса будут обеспечены, например, только при подаче единичного ступенчатого скачка, это ещё не означает, что задача управления решена. Такое тестирование допустимо только в том случае, если объект линеен, для линейных объектов справедлив принцип суперпозиции, и, следовательно, если входной сигнал уменьшить или увеличить с некоторым коэффициентом, в том числе и отрицательным, то все сигналы на выходе изменятся с тем же коэффициентом, поэтому построение семейства переходных процессов не имеет никакого смысла.

Многие студенты и аспиранты вследствие того, что основная часть практических заданий по теории автоматического управления связана с задачами управления линейными объектами, привыкают к тому, что отклик системы на единичный ступенчатый скачок является достаточной демонстрацией соответствия полученному решению поставленной задаче, однако, это не так, для нелинейных систем требуется также исследование диапазона применимости данного решения.

#### МЕТОД РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

В качестве метода решения используем метод численной оптимизации при моделировании переходных процессов в программе *VisSim*. Обоснование для этого выбора достаточно детально приведены в публикациях [2–7].

Будем решать задачу в структуре с единичной отрицательной обратной связью и с ПИД-регулятором в прямой ветви. Передаточная регулятора в этом случае имеет следующий вид:

$$W(s) = k_p + \frac{1}{s}k_i + sk_d. \quad (2)$$

Здесь  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  – коэффициенты пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего трактов,  $s$  – оператор преобразования Лапласа. Передаточная функция (2) связывает сигнал ошибки и формируемый сигнал управления, который необходимо подавать на вход объекта. Сигнал ошибки представляет собой разницу между сигналом задания и выходным сигналом. Структура такой системы показана на *Рис. 1*.

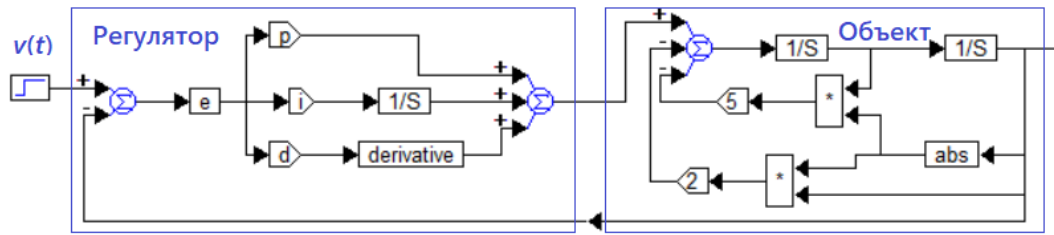


Рис. 1. Структура предлагаемой системы управления:  $p$ ,  $i$ ,  $d$  – упрощенные обозначения коэффициентов с такими индексами, соответственно, т.е.  $k_p$ ,  $k_I$ ,  $k_D$ ,  $derivative$  – блок вычисления производной,  $1/S$  – блок вычисления интегратора,  $\Sigma$  – блок суммирования или вычитания, в зависимости от знаков у входов,  $v(t)$  – сигнал задания, т. е. предписанного значения для выходной величины  $y(t)$ , пятиугольники с цифрой – коэффициенты усиления с обозначенным значением коэффициента,  $abs$  – блок вычисления абсолютного значения, прямоугольники со звездочкой внутри – блоки умножения сигналов,  $e$  – сигнал ошибки

Для расчета коэффициентов регулятора используем метод, предложенный в цикле работ [2–7]. В соответствии с этим методом создадим три блока “*Parameter Unknown*” и блок “*Cost*”, а также структуру для вычисления стоимостной функции из сигнала ошибки в соответствии со следующим уравнением:

$$F_c(T) = \int_0^T \{t|e(t)| + f[e(t)]\}dt. \quad (3)$$

Здесь

$$f[e(t)] = 1000 \cdot \max \{0; e(t) \frac{d}{dt} e(t)\}. \quad (4)$$

Обоснование для выбора этой целевой (стоимостной) функции мы не приводим,

поскольку достаточное обоснование приведено в публикациях [2–7]. Полная структурная схема для реализации этой задачи оптимизации показана на Рис. 2. В результате оптимизации получены коэффициенты, которые показаны в дисплеях справа. Стартовые значения были изначально записаны генераторы констант, находящиеся слева. Получены следующие значения коэффициентом ПИД-регулятора (2):  $k_p = 46,938$ ,  $k_I = 8,16$ ,  $k_D = 10,247$ .

На Рис. 3 – Рис. 4 показаны переходные процессы в полученной системе при различных значениях входного ступенчатого скачка  $u(t)$ .

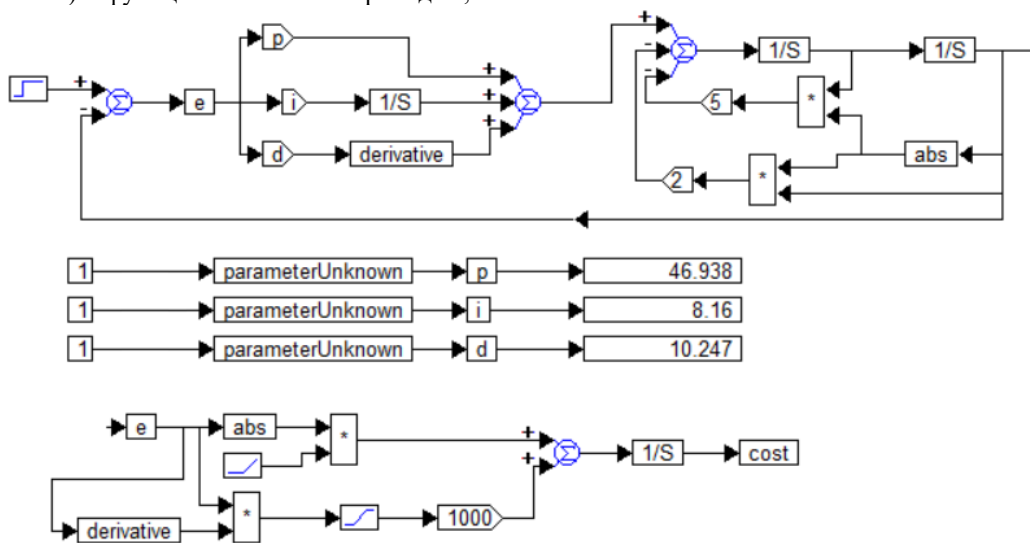


Рис. 2. Структурная схема для оптимизации регулятора (2) для объекта (1) с использованием стоимостной функции (3), (4)

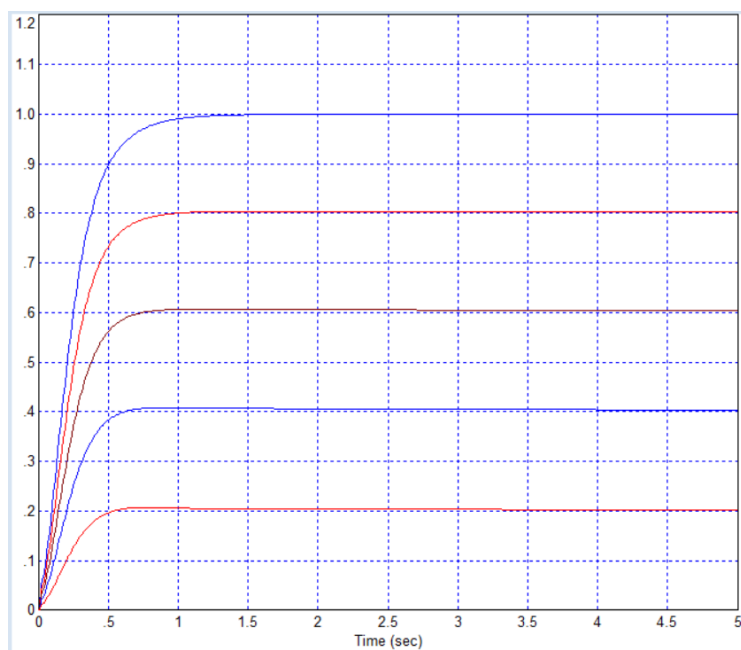


Рис. 3. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0 единицы

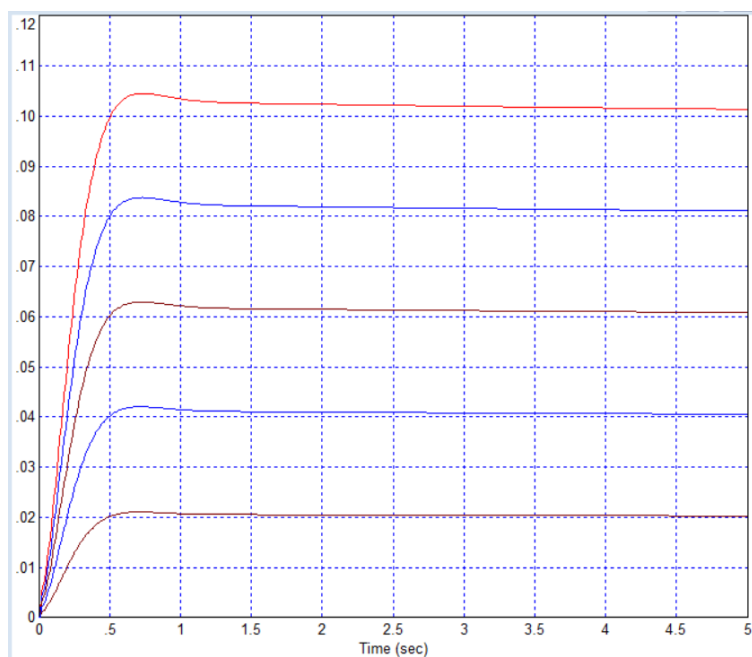


Рис. 4. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 0,1; 0,08; 0,06; 0,04 и 0,02 единицы



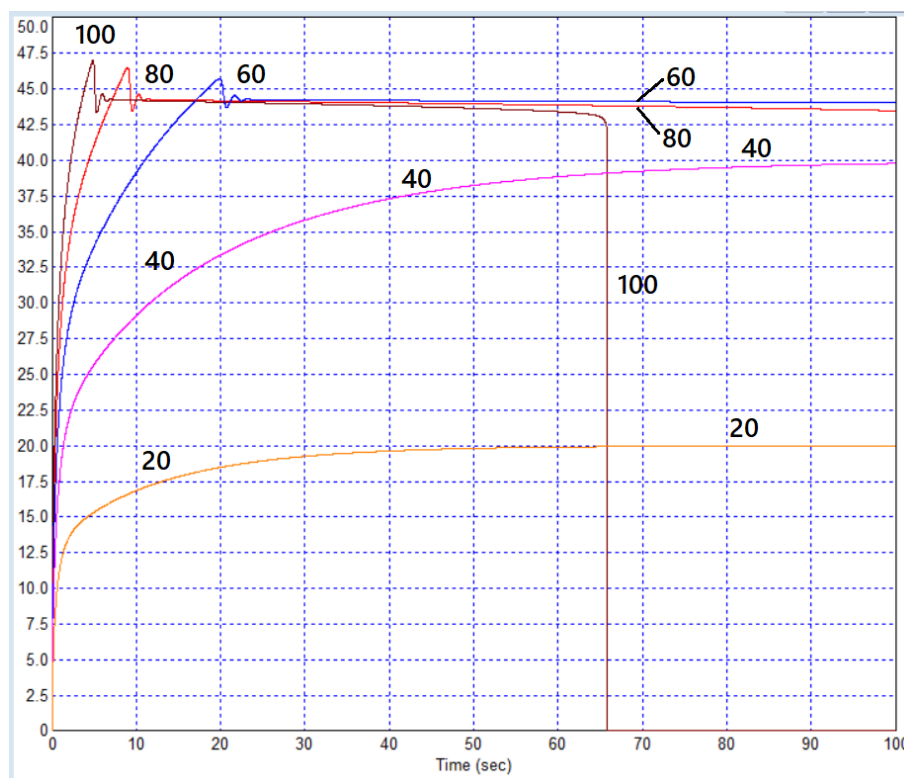


Рис. 5. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания указано рядом с графиками: 20, 40, 60, 80 и 100

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переходные процессы при малых сигналах демонстрируют вполне приемлемое решение поставленной задачи. При увеличении амплитуды входного сигнала до величины 10 качество сигнала остается почти неизменным, но длительность переходного процесса постепенно увеличивается, а при амплитуде 20, как видим из Рис. 5, сигнал уже заметно затянут, длительность переходного процесса стала равной приблизительно 50 с, тогда как при сигналах менее 1 единицы она составляет 1,5 с. При амплитуде входного сигнала 40 единиц длительность процесса увеличивается до 100 с. При амплитуде 60 процесс уже не достигает предписанного значения (которое в этом случае, разумеется, также равно 60 единиц), сигнал достигает лишь значения около 44 единицы за время 20 с, процесс имеет некоторое перерегулирование, после чего плавно ниспадает. Эта ситуация уже не может быть названа успешным управлением. При задании 80 единиц происходит приблизительно такой же процесс, но он проходит быстрее в два раза. При задании, равном 100 единиц, процесс происходит ещё в два раза быстрее, после чего также уменьшается, а по достижении значения 41 единицы резко уменьшается, двигаясь в направлении очень большого отрицательного

значения. Во всяком случае можно утверждать, что при значении задания более 40 единиц управление объектом (1) уже не обеспечивается.

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ДРУГОМ УРОВНЕ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Можно осуществить оптимизацию при задании входного сигнала с амплитудой в 20 единиц. Полученные значения коэффициентов регулятора в этом случае:  $k_p = 1,748$ ,  $k_i = 21,13$ ,  $k_D = 0,216$ . Переходные процессы для этого случая показаны на Рис. 6. Длительность процесса в этом случае также увеличивается при увеличении входного сигнала, но это увеличение уже не столь велико, а именно: при амплитуде 40 единиц длительность составляет 30 с, при входном сигнале в 30 единиц длительность процесса равна 20 с, при входном сигнале 20 единиц длительность равна 10 с, а при сигнале 10 единиц эта длительность также равна 10 с, но возникает небольшое перерегулирование порядка 0,5%. При уменьшении входного сигнала это перерегулирование возрастает, и уже при значении входного сигнала, равном 0,9 единиц перерегулирование достигает 50%, при этом процесс содержит большое количество колебаний около установившегося равновесного состояния, как показано на Рис. 7.

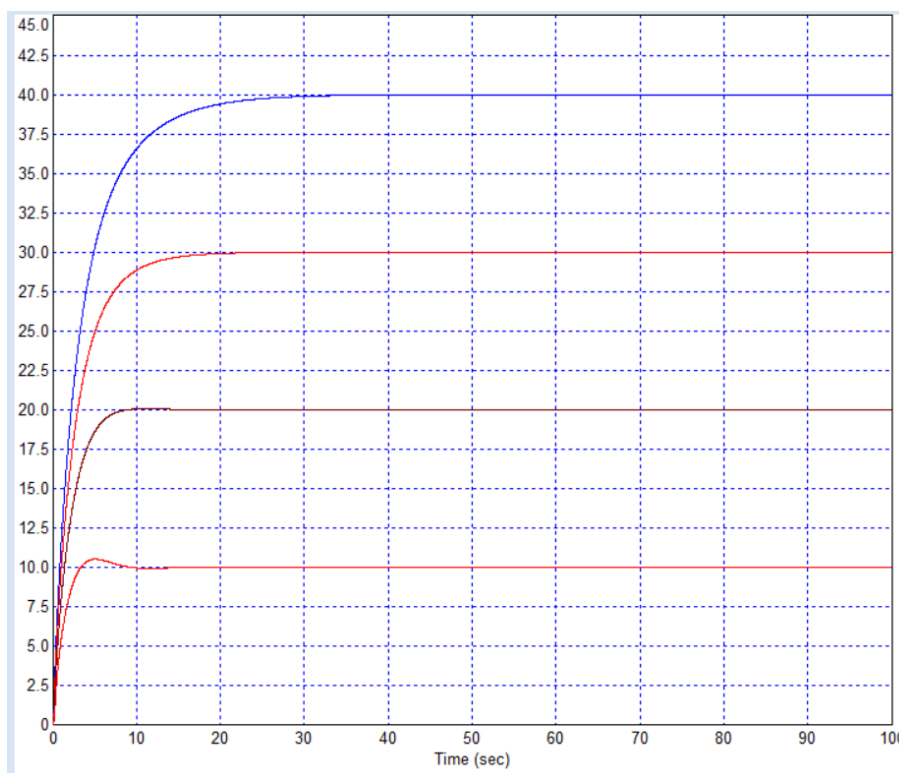


Рис. 6. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 10; 20; 30 и 40 единиц

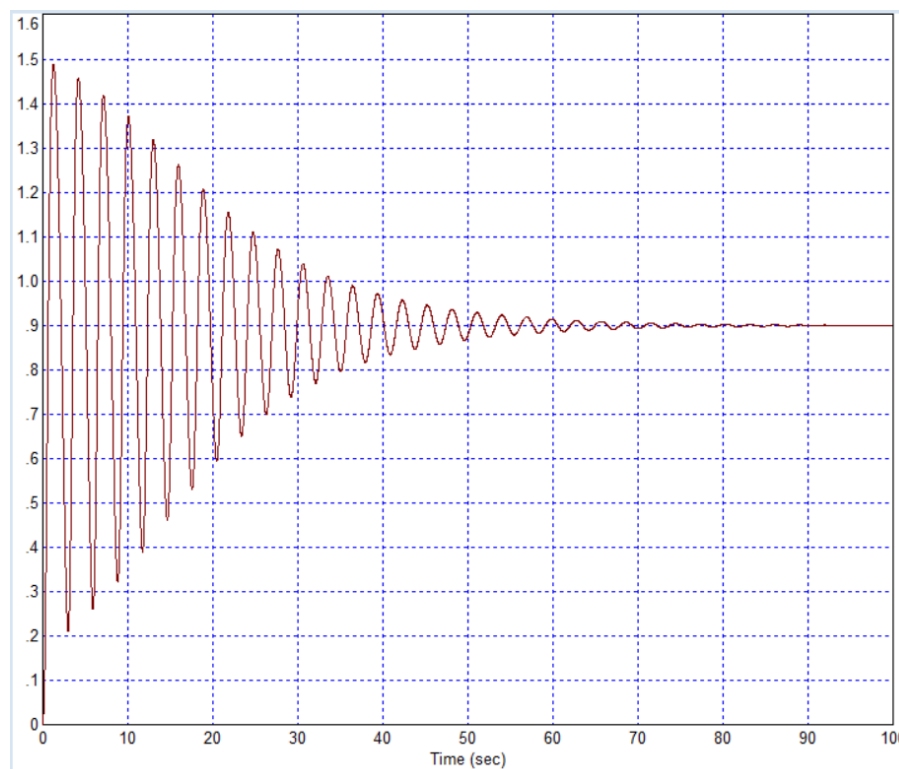
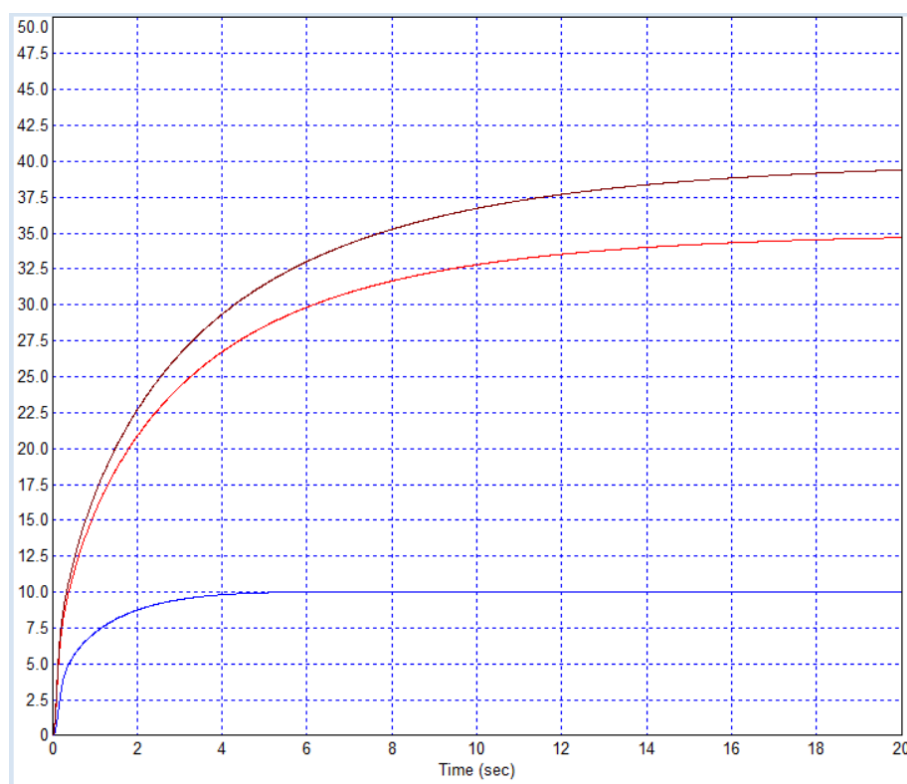


Рис. 7. Переходный процесс в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора при амплитуде входного скачка 0,9 единиц: перерегулирование 50% и большое количество колебаний, не менее двадцати хорошо различимых колебаний

### ПРОМЕЖУТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ

Выбирая промежуточное значение входного сигнала, можно получить промежуточное решение, которое будет лучшим решением именно для этого ожидаемого значения. Например, можно использовать скачок задания равный 10 единицам при оптимизации регулятора. В этом случае получены следующие коэффициенты ПИД-регулятора (2):  $k_p = 21,498$ ,  $k_i = 24,26$ ,  $k_d = -0,231$ . Переходные процессы для этого случая показаны на *Рис. 8*, где входные сигналы имеют следующие значения амплитуды: 10, 30 и 40. На *Рис. 9* показаны процессы при значениях от 5 до 10 с шагом, равным 5. Также на *Рис. 10* показаны переходные процессы при малых сигналах от 5 единиц до 1 единицы. Видим, что при снижении

сигнала до 3 единиц переходный процесс сохраняет хорошее качество, перерегулирование хотя и появляется, но оно небольшое. При амплитуде входного сигнала в 2 единицы перерегулирование уже достигает 10%, при единичном входном сигнале перерегулирование равно почти 40%. Процессы при дальнейшем снижении входного сигнала показаны на *Рис. 11*. Видим, что перерегулирование растет стремительно. При амплитуде входного сигнала 0,8 единиц перерегулирование неожиданно снизилось до 25%, далее оно растет: при амплитуде 0,6 оно составило более 58%, при амплитуде 0,4 оно составило 75%. Если входной сигнал равен 0,35, то переходный процесс превращается в серию незатухающих колебаний около равновесного состояния, как показано на *Рис. 12*.



*Рис. 8.* Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 10; 30 и 40 единиц

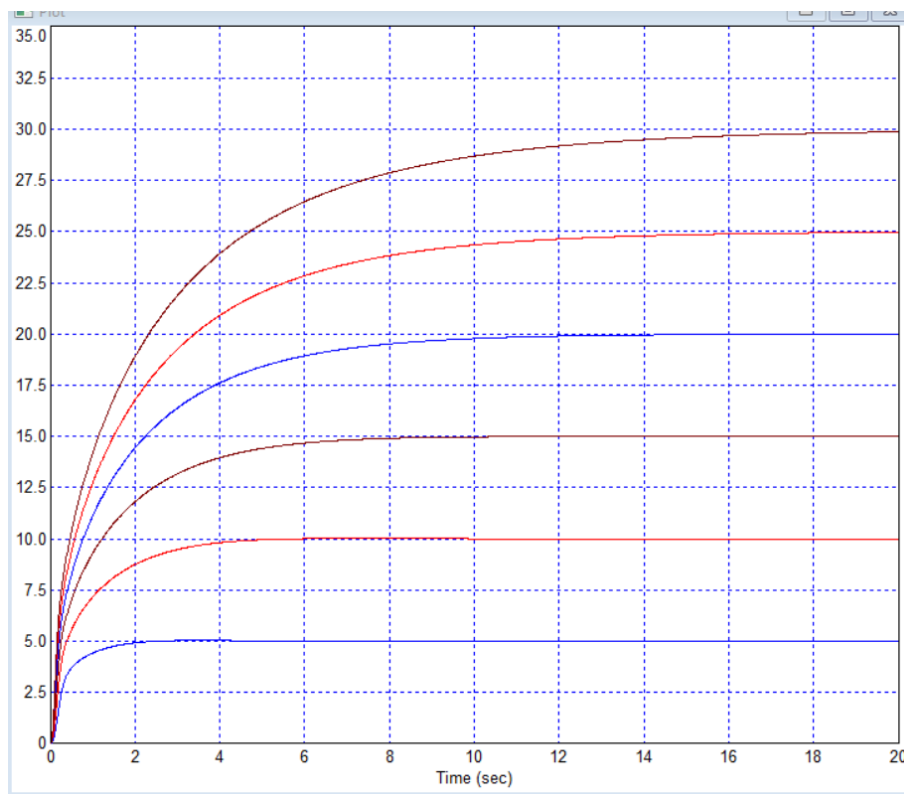


Рис. 9. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 5; 10; 15; 20; 25 и 30 единиц

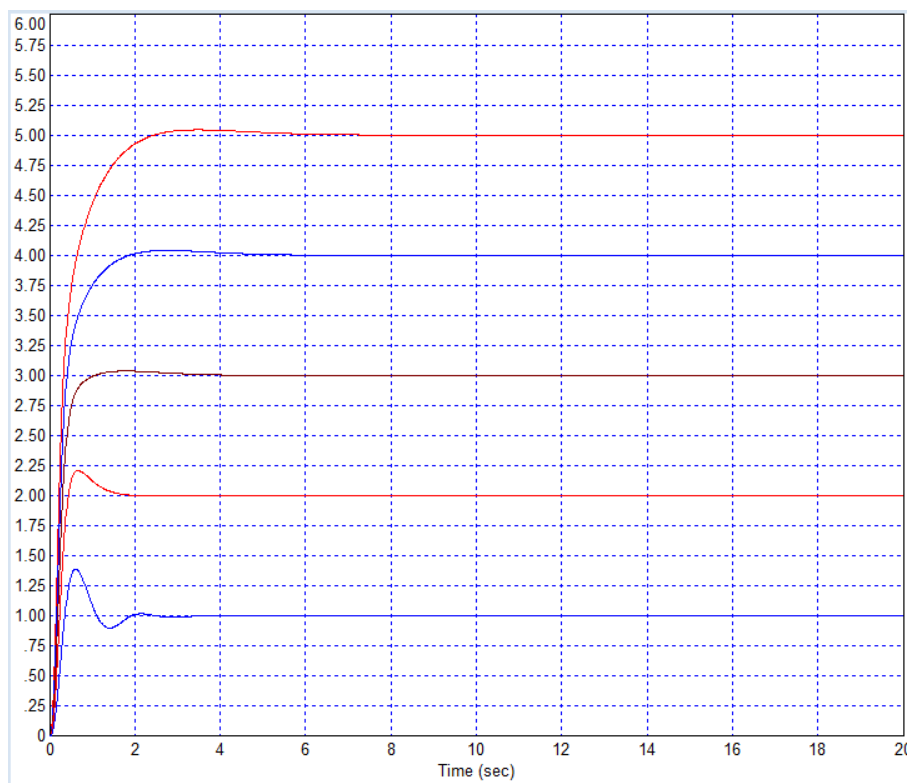


Рис. 10. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 5; 4; 3; 2 и 1 единицу



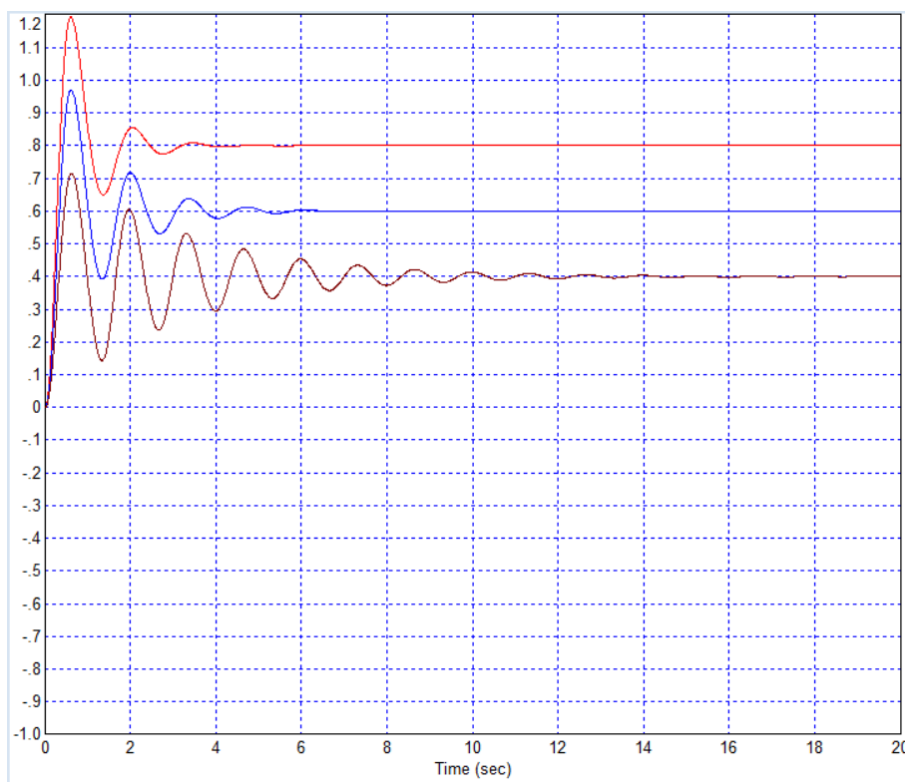


Рис. 11. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет, соответственно, 0,8; 0,6 и 0,4 единицы

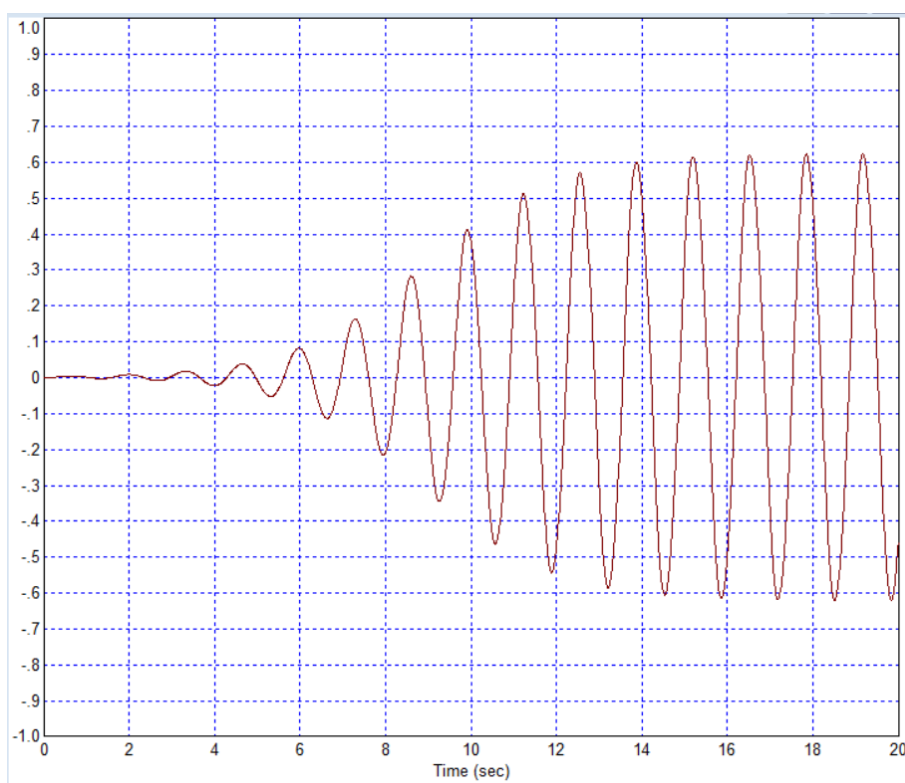


Рис. 12. Переходные процессы в системе по структуре (2) с рассчитанными коэффициентами регулятора: значение задания видно по значению установившегося состояния выходного сигнала, на данном графике амплитуда входного скачка составляет 0,35 единицы

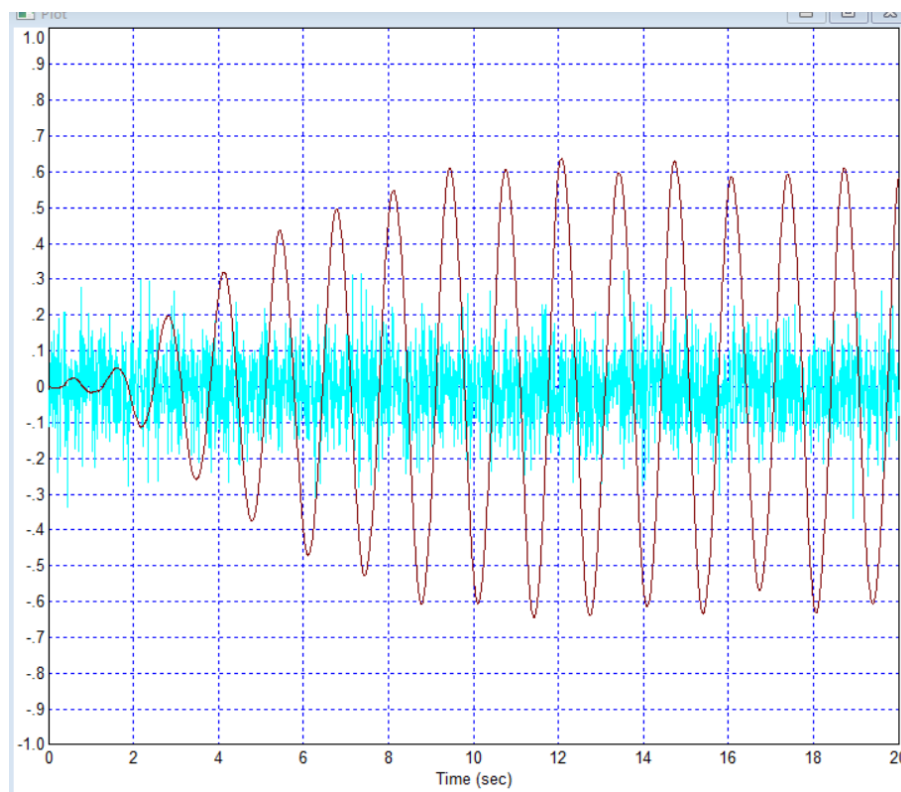
### ДЕТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТА

Решение, при котором малые входные сигналы недопустимы, вызывает обоснованные сомнения в возможности его применения. Согласно принятой в теории автоматического управления терминологии такое решение можно назвать негрубым, что является плохой характеристикой результата. Действительно, если при малых сигналах выходная величина совершает колебания, это может сделать такую систему неприменимой. Для начала, можно исследовать поведение системы при подаче на вход небольших гауссовых шумов. На *Рис. 13* и *Рис. 14* показаны переходные процессы при различных уровнях шума на входе. Из *Рис. 14* видно, что даже относительно очень малый шум приводит к колебаниям на выходе системы. Если колебания такой амплитуды не представляют проблемы, тогда, по-видимому, полученный результат можно принять, однако, все-таки эта ситуация крайне нежелательна. Далее исследуем, как данная система реагирует на входные сигналы противоположного знака.

Поскольку модель объекта симметрична относительно знака входного сигнала, ожидалось, что переходные процессы будут также симметричны. Это ожидание полностью подтвердилось, действительно знак сигнала не изменяет свойства системы ни количественно, ни качественно.

Кроме того, для более детального исследования на вход подавались последовательно ступенчатые скачки разного знака, как показано на *Рис. 15*. Система вполне успешно обрабатывает знакопеременные скачки, последовательно поступающие на её вход.

На *Рис. 16* показан переходный процесс, формируемый при последовательном поступлении двух скачкообразных с сигналов на её вход: сначала поступает сигнал амплитудой 4 единицы, а затем этот сигнал обратно приходит в нулевое состояние, т.е. добавляется скачок такой же амплитуды противоположного направления так, что в итоге на входе формируется нулевой входной сигнал. В этом случае на выходе системы устанавливаются незатухающие колебания амплитудой в 2 единицы.



*Рис. 13.* Переходный процесс в системе по структуре (2) при подаче на вход гауссова шума (шумовой сигнал показан на этом же графике)

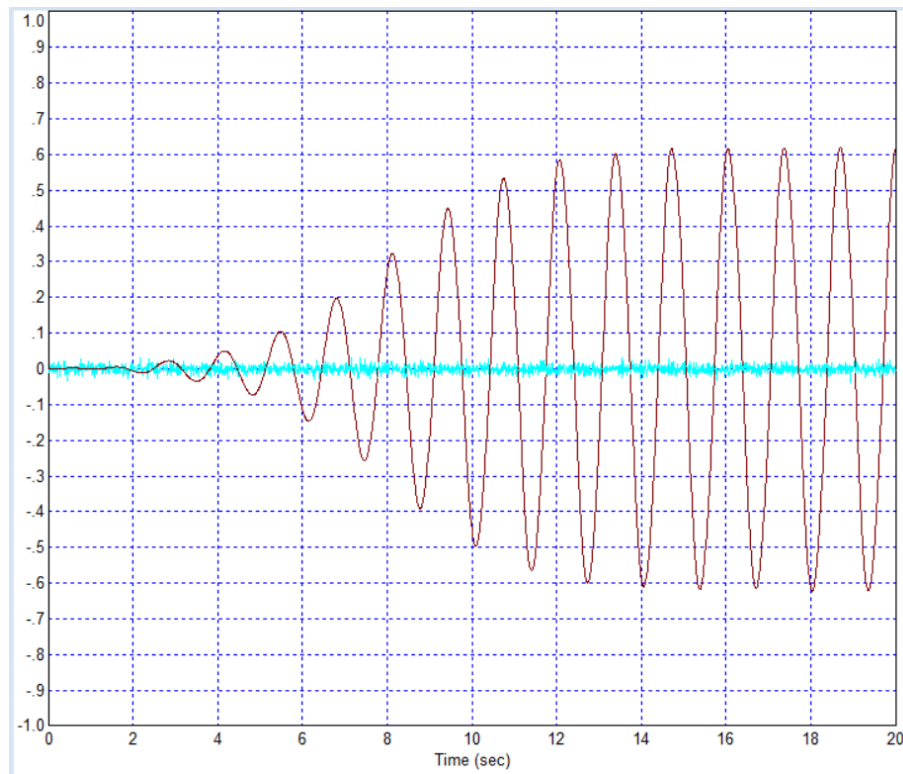


Рис. 14. Переходный процесс в системе по структуре (2) при подаче на вход гауссова шума (шумовой сигнал показан на этом же графике)

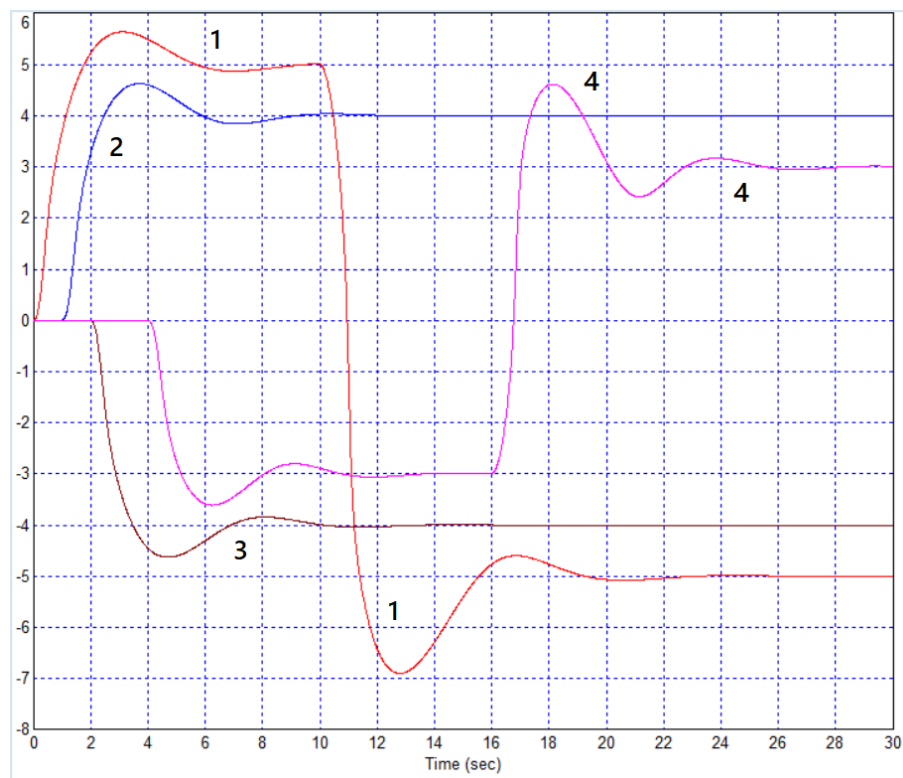


Рис. 15. Переходный процесс в системе по структуре (2) при подаче на вход скачкообразных сигналов различной полярности

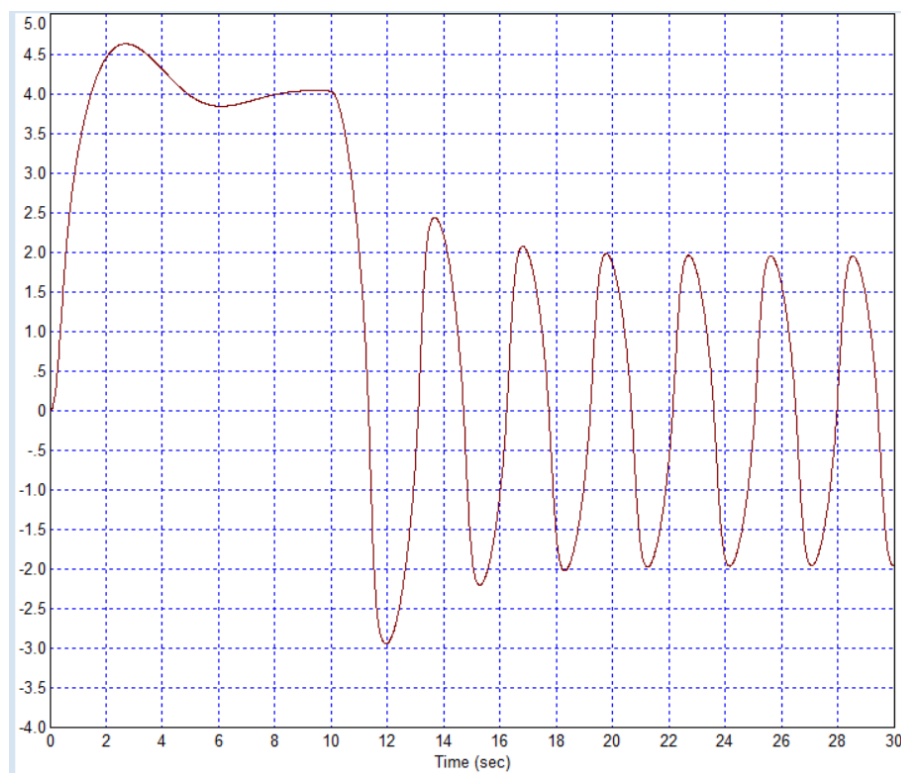


Рис. 16. Отклик системы на два последовательных скачка амплитуды 4 единицы, причем второй скачок происходит через 10 секунд после начала процесса и возвращает задание в нулевое значение

#### ДАЛЬНЕЙШЕЕ УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ

Очевидно, что сигнал, который возвращается в нулевое значение, является наиболее нежелательным для полученной системы. По этой причине предлагается именно такой сигнал использовать в качестве тестового сигнала на последующем шаге численной оптимизации. Полученные результаты показаны на Рис. 17 и последующих Рис. 18 – Рис. 21. Согласно структуре на Рис. 17, тестовый сигнал составляет сумму двух скачкообразных воздействий, первое – положительное с амплитудой в 4 единицы, второе – отрицательное той же самой амплитудой с задержкой на 12 с.

Полученные коэффициенты регулятора такие:  $k_p = 28,879$ ,  $k_i = 14,09$ ,  $k_D = 5,826$ .

Показанные отклики демонстрируют, что в том случае, если входной сигнал не превышает 42 единицы, то система выполняет свои функции управления, хотя с ростом амплитуды сигнала время переходного процесса увеличивается. Также продемонстрировано процессами на Рис. 18, что никакие скачки в рамках оговоренной амплитуды, включая те, которые

возвращают сигнал в нулевое значение, не выводят систему из устойчивого состояния. Система устойчива не только «в большом», но и «в малом», что является безусловным её преимуществом среди всех нелинейных систем, имеющих хотя бы небольшую неустойчивость «в малом», то есть хотя бы небольшие колебания около равновесного состояния.

На Рис. 22 показан процесс при подаче на вход весьма значительного гауссова шума, который также показан на этом же графике в виде фонового сигнала. Видно, что система существенно подавляет и фильтрует этот шум в противоположность системе, процессы в которой показаны на Рис. 14, которая даже очень малые шумы преобразует в колебания достаточно значительной амплитуды. Для сравнения: система с процессом по Рис. 14 шумы амплитудой 0,02 единицы превращает в колебания амплитудой 0,6 единиц, т.е. увеличивает её в 30 раз. А полученная в итоге система с процессом, показанным на Рис. 22, шумы с амплитудой до 3 единиц фильтрует до остаточного значения 0,25 единиц, т.е. подавляет шум в 12 раз.



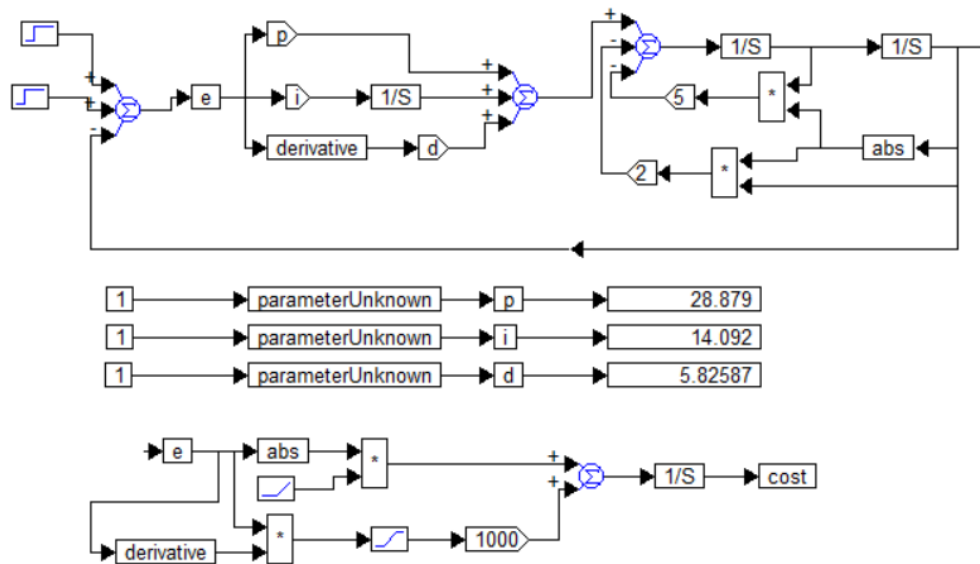


Рис. 17. Структура для оптимизации регулятора при подаче двух последовательностей ступенчатых входных сигналов, в результате которой окончательное значение вновь становится нулевым; результат оптимизации показан в мониторах справа в центре рисунка.

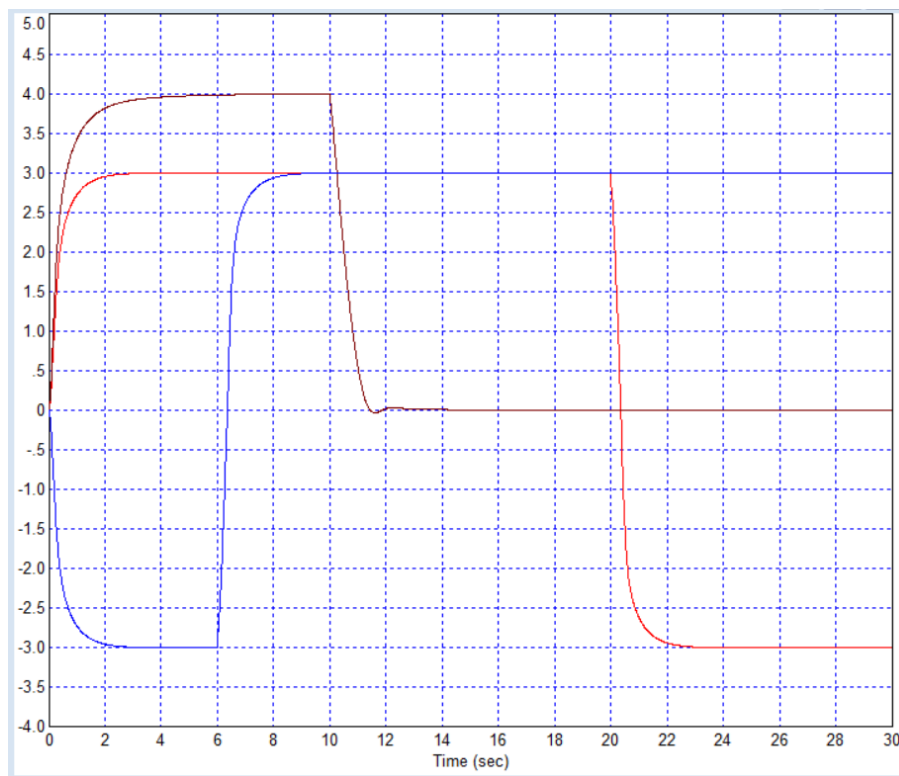


Рис. 18. Отклик системы на различные сигналы, включая тестовый, используемый при оптимизации

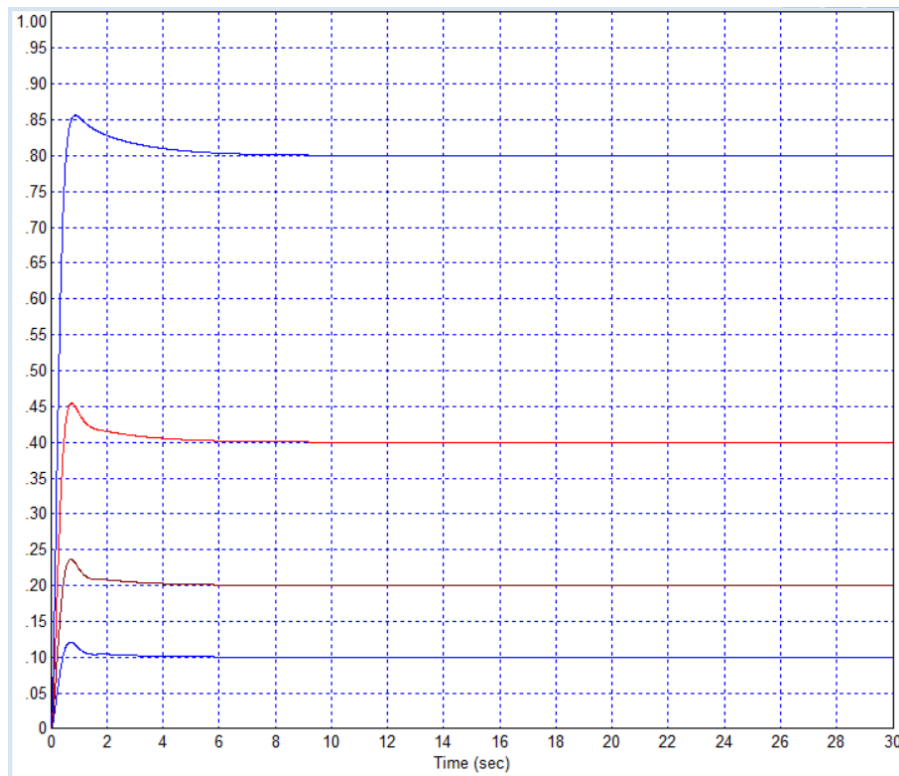


Рис. 19. Отклик системы на ступенчатые входные сигналы различной амплитуды от 0,1 до 0,8

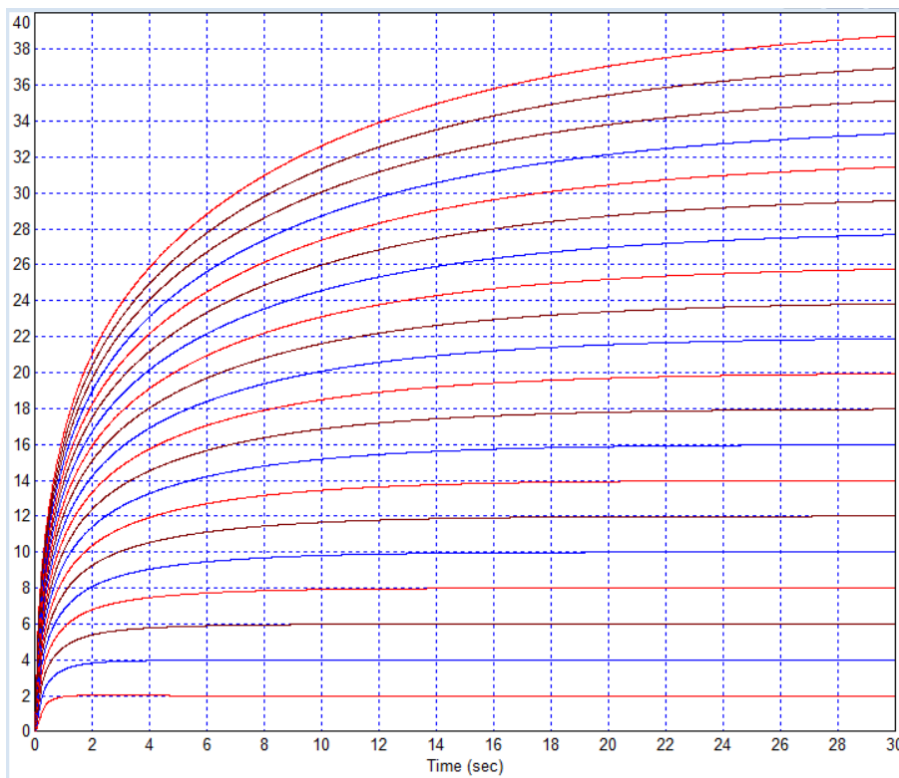


Рис. 20. Отклик системы на ступенчатые входные сигналы различной амплитуды от 2 до 40: управление во всех случаях успешное

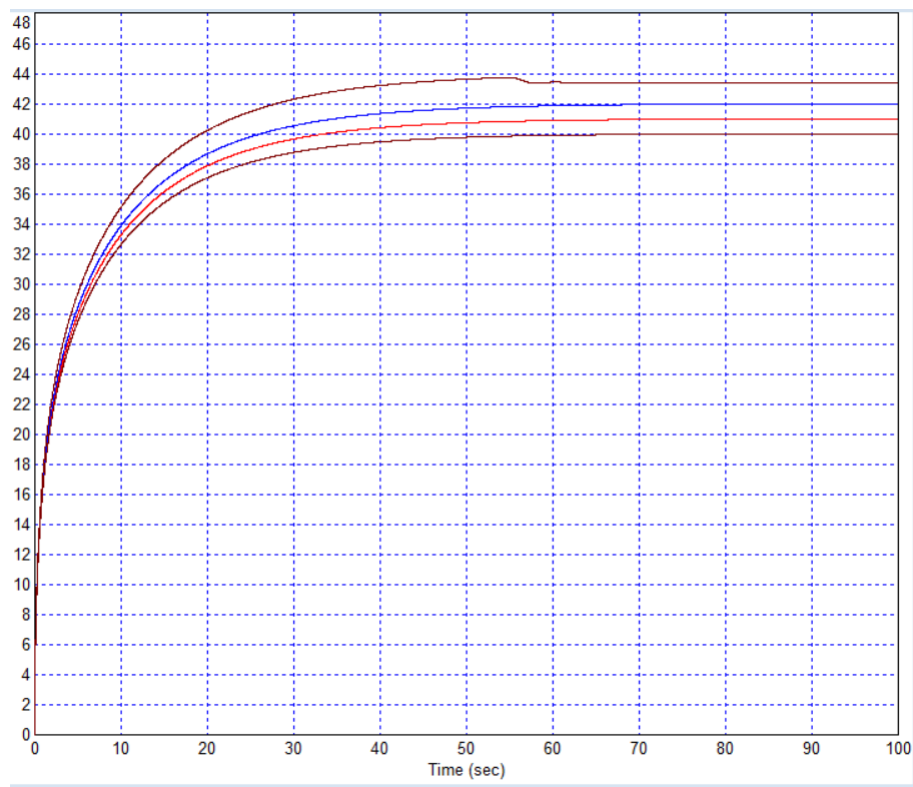


Рис. 21. Отклик системы на ступенчатые входные сигналы различной амплитуды от 40 до 43: управление успешное при амплитуде до 42 единиц включительно, при амплитуде 43 единицы в отклике присутствуют проблемы, установившееся значение не равно предписанному значению

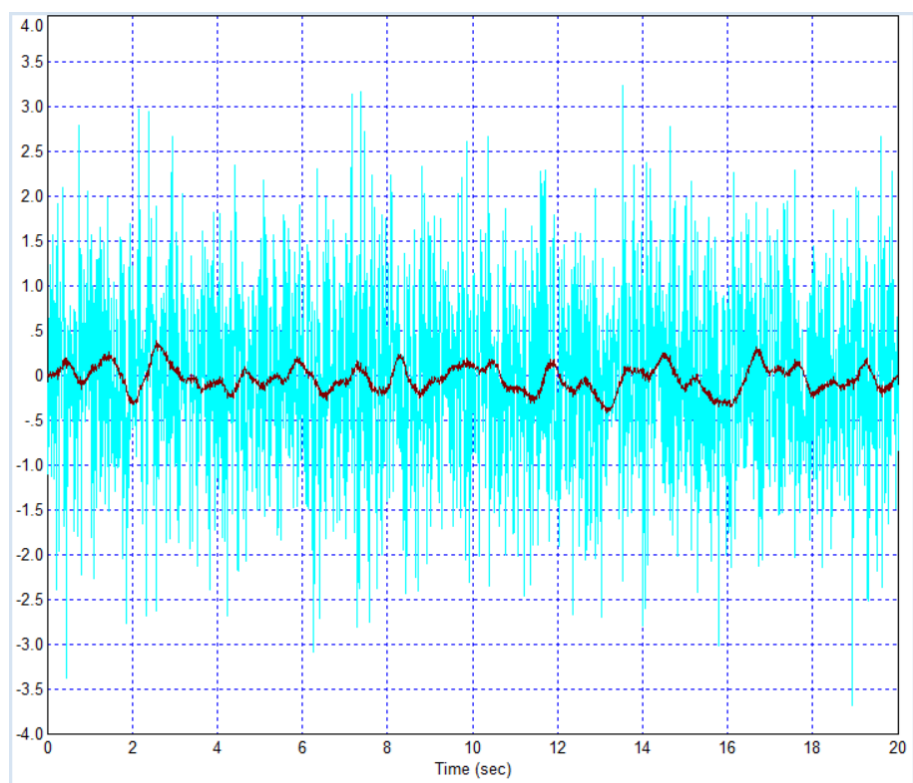


Рис. 22. Переходный процесс в системе по структуре (2) при подаче на вход гауссова шума (шумовой сигнал показан на этом же графике)

## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

По проделанным модельным исследованиям можно сделать следующие предварительные выводы.

Безусловно, управление нелинейными объектами является намного более сложной задачей, чем управление линейными объектами, и безусловно, получение откликов на тестовые сигналы только какой-то одной фиксированной амплитуды являются абсолютно недостаточной демонстрацией решения поставленной задачи. Как и следовало ожидать, необходимо предоставлять семейство откликов системы на набор различных сигналов.

Можно рекомендовать для верификации полученного решения для нелинейного объекта получать семейство откликов системы на тестовые входные сигналы различной амплитуды. Амплитуды этих тестовых сигналов следует выбирать из того диапазона, который ожидается в реальной системе с реальным объектом.

Обязательна при решении задачи управления нелинейным объектом проверка того предположения, что знак сигнала не изменяет вид отклика системы кардинально. Если математическая модель системы симметрична относительно знака входного сигнала, такую проверку, по-видимому, можно не делать, поскольку это предположение можно в достаточной степени обосновать теоретически, однако, хотя бы один-два тестовые проверки все-таки желательны.

Если полученная система с нелинейным объектом неустойчива при малых сигналах, необходима проверка отклика системы не только на малые входные сигналы и не только на малые шумы, но также и на сигнал, имеющий такую форму, которая возвращается в нулевое значение или в малое значение входного сигнала. В этом случае может оказаться, что отклик на такой сигнал является недопустимым, например, формируется устойчивое колебание излишне большой амплитуды.

Впервые обосновано и предложено для оптимизации нелинейных систем управления объектом, имеющим существенную склонность к колебаниям, например, вследствие множественных нелинейных обратных связей, предложено использование в качестве тестового сигнала такого ступенчатого сигнала, который не только содержит скачок из нулевого значения в ненулевое, но также обязательно содержит обратный скачок из ненулевого значения в нулевое. Данная модификация доказана как существенная для оптимизации нелинейных объектов, поскольку такая модификация обеспечивает устойчивость полученной системы в малом, т.е. при нулевых сигналах, получившихся по окончании переходного процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.А. Жмудь. Тестирование регуляторов по методу локализации на их эффективность. Автоматика и программная инженерия. 2022. 2 (40). С. 55–69.
- [2] Жмудь В. А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления: учеб. пособие для академического бакалавриата / В. А. Жмудь. - 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2017. 126 с. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [3] Жмудь В. А. Системы автоматического управления высшей точности: учеб. пособие / В. А. Жмудь, А. В. Тайченачев. – Новосибирск.: Изд-во НГУ, 2016. 133 с. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [4] Автоматизированное проектирование систем управления.: учеб. пособие / Новосибирск, 2012: учеб.-метод. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 72 с.
- [5] Жмудь В. А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim.: учеб. пособие / Новосибир. гос. техн. ин-т. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2012.: учеб. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 124 с.
- [6] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. - 126 p
- [7] Жмудь В. А. Численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim: новые структуры и методы: монография / В. А. Жмудь. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2016. - 252 с. ISBN 978-5-7782-3062-7.



**Асхат Асет** - Докторант Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева по специальности: 8D07103 Автоматизация и управление; Должность: старший преподаватель Казахский национальный университет им. аль-Фараби; Телефон: 8707 234 89 66; E-mail: [aset.asxat@mail.ru](mailto:aset.asxat@mail.ru)



**Мадина Эсимхановна Мансурова** Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, 050040, Казахстан, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент E-mail: [mansurova01@mail.ru](mailto:mansurova01@mail.ru)



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

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

Статья получена 18.07.2022



## Control of a Non-Linear Plant with Many Non-Linear Feedbacks

A. Aset<sup>1</sup>, M.E. Mansurova<sup>2</sup>, V.A. Zhmud<sup>3, 4, 5</sup>

<sup>1</sup>Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeeva, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Novosibirsk Institute of Program Systems, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup>Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>5</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

*Abstract.* The control of non-linear objects is becoming increasingly important. The numerical optimization method is the most effective for these purposes. Checking the result by the response of the resulting system to a single step action, often practiced when designing control systems for linear objects, is often applied to control systems for non-linear objects, which is a mistake. This article demonstrates that even in the case of successful control demonstrated with such a test signal, the system may have insufficient quality when processing signals of a different amplitude. Therefore, it is necessary to check the stability of the system and the quality of the transient process, including accuracy, overshoot, and the absence of fluctuations in a much wider range of reference signals. It is shown that the optimization result significantly depends on the type and amplitude of the signals used as a test task during the optimization procedure. It was found that the system may be unstable in small things, i.e. for small nonzero signals, the system may be prone to oscillations. It is also shown that a system that demonstrates itself as sufficiently high-quality by many test signals can exhibit unacceptably poor quality, including large-amplitude self-oscillations as a response to a signal that first jumps from zero to non-zero, and then jumps back to zero. condition. For the first time, it was proposed to use just such the most complex signal for some types of nonlinear systems as a test signal for the duration of the numerical optimization procedure. It is shown that in this case the best possible setting of the PID controller is obtained, such a system significantly suppresses even noise with an average of zero, while a system optimized by a step jump, under such conditions, goes into a state of self-oscillations with a significant amplitude.

*Key words:* automation, PID controller, control, nonlinear plant, numerical optimization, simulation, cost function

### REFERENCES

- [1] V.A. Zhmud. Testing of Effectiveness of the Regulators by the Method of Localization. *Automatics & Software Enginery*. 2022, N 2 (40). P.55–69.
- [2] Zhmud V. A. Modelirovaniye zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya: ucheb. posobiye dlya akademicheskogo bakalavriata / V. A. Zhmud'. - 2-ye izd., ispr. i dop. - Moskva: Yurayt, 2017. 126 s. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [3] Zhmud V. A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya vysshey tochnosti: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud', A. V. Taychenachev. – Novosibirsk.: Izd-vo NGU, 2016. 133 s. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [4] Avtomatizirovannoye proyektirovaniye sistem upravleniya.: ucheb. posobiye / Novosibirsk, 2012: ucheb. - metod. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 72 s.
- [5] Zhmud V. A. Modelirovaniye i chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim.: ucheb. posobiye / Novosib. gos. tekhn. in-t. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2012.: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 124 s.
- [6] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. – 126 p
- [7] Zhmud V. A. Chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim: novyye struktury i metody: monografiya / V. A. Zhmud. – Novosibirsk.: Izd-vo NGTU, 2016. - 252 s. ISBN 978-5-7782-3062-7.



**Askhat Aset** – PhD-student of Almaty University of Energy and Communications. G. Daukeeva, specialty: 8D07103 Automation and control; Position: Senior Lecturer Kazakh National University. al-Farabi; Phone: 8707 234 89 66; E-mail: [aset.asxat@mail.ru](mailto:aset.asxat@mail.ru)



**Madina Esimkhanovna Mansurova** Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Kazakhstan, associate professor, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

E-mail: [mansurova01@mail.ru](mailto:mansurova01@mail.ru)



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS. E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

The paper has been received on 18/07/2022.

# Исследование запаса устойчивости системы управления нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями при изменении параметров его модели

А. Асет

Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

*Аннотация.* В статье [1] описан метод и результат проектирования регулятора для нелинейного объекта. Предложен ПИД-регулятор, предложены тестовые сигналы, нехарактерные для аналогичной задачи синтеза регулятора для линейного объекта, также предложено конкретное численное решение. В заключительной части статьи осуществлено моделирование, подтверждающее успешность решения поставленной задачи. Однако, в этой статье не осуществлена детальная проверка того, насколько данное решение поставленной задачи устойчиво в случае изменения коэффициентов нелинейной модели объекта. Проверка этого может быть осуществлена дополнительным моделированием. Ситуация осложняется тем, что, во-первых, переходные процессы зависят от амплитуды и формы входного сигнала, во-вторых, коэффициентов в модели объекта несколько. В частности, имеется два коэффициента, определяющих глубину нелинейной обратной связи. Статья предлагает метод этой проверки и её результаты.

*Ключевые слова:* верификация, испытания, робастность, негрубость, автоматика, ПИД-регулятор, управление, нелинейный объект, численная оптимизация, моделирование, стоимостная функция

## ВВЕДЕНИЕ

В статье [1] решена задача проектирования регулятора для объекта, нелинейная модель которого задана следующим уравнением

$$\dot{y} = -a_1|y|\dot{y} - a_2|y|y + b(t)u + M(t). \quad (1)$$

В этом уравнении  $t$  – время,  $y$  – выходной сигнал объекта,  $\dot{y}$  – его первая производная по времени,  $\ddot{y}$  – его вторая производная по времени,  $u$  – сигнал управления, подаваемый на вход, который мы можем формировать по своему желанию, исходя их результатов измерения выходного сигнала,  $M(t)$  – неизвестное и не контролируемое возмущение, поступающее на объект, приложенное к его выходу,  $a_1$  и  $a_2$  – постоянные известные коэффициенты, в частности,  $a_1 = 5$ ,  $a_2 = 3$ .

В статье предложен последовательный ПИД-регулятор, передаточная функция которого имеет следующий вид:

$$W(s) = k_p + \frac{1}{s}k_i + sk_d. \quad (2)$$

Здесь  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  – коэффициенты пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего трактов,  $s$  – оператор преобразования Лапласа.

Получены следующие коэффициенты регулятора:

$$k_p = 28,879, k_i = 14,09, k_d = 5,826. \quad (3)$$

Для верификации данного решения осуществлено моделирование с несколькими значениями входного сигнала задания.

Однако, в статье не уделено внимания проблемам того, насколько точно известны коэффициенты модели (2), или насколько они

стабильны. В предположении, что эти коэффициенты могут изменяться, желательно понять, будет ли такая система оставаться устойчивой, будет ли сохраняться в ней точность, насколько изменится диапазон допустимых входных сигналов, в котором система будет сохранять приемлемое качество.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для объекта (1) с регулятором (2) при значениях коэффициентов согласно (3) необходимо исследовать, в какой мере можно доверять этому полученному решению при условии, что коэффициенты (3) могут кратно изменять свои значения. Например, интересно увеличение и уменьшение значений этих коэффициентов в 2 раза, также представляет определенный интерес увеличение и уменьшение этих коэффициентов в 4 раза.

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Для решения задачи будем использовать метод математического моделирования. Предлагается использовать программу *VisSim* со всеми предложенными техническими приемами из публикаций [2–7].

На *Рис. 1* показана структурная схема для оптимизации и моделирования данной системы. В статье [1] рекомендуется формирование тестового сигнала из более чем одного генератора ступенчатого воздействия, но поскольку в данной статье используется уже рассчитанный набор коэффициентов, можно упростить моделирование и использовать для проверки только один генератор ступенчатого входного сигнала. При необходимости эти исследования можно повторить и с более

сложным генератором тестового входного сигнала.

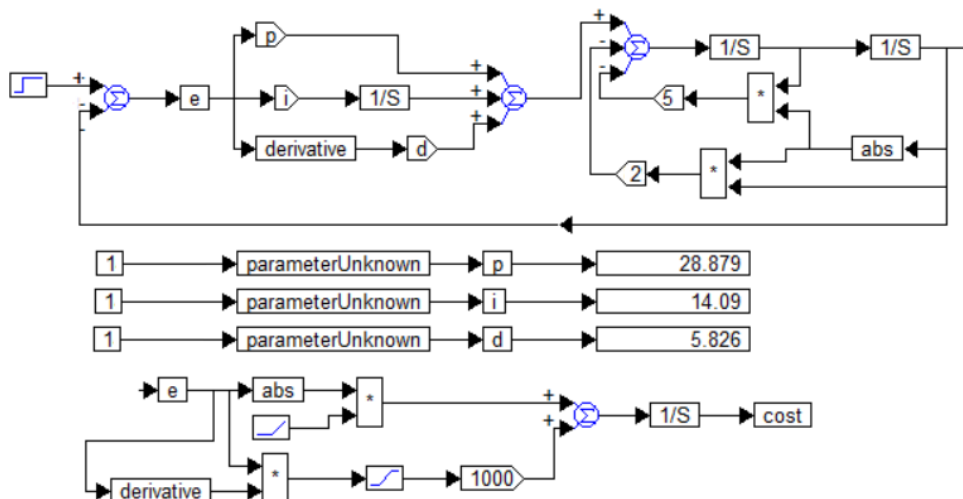


Рис. 1. Структурная схема для моделирования системы по уравнениям (1), (2) с численными значениями регулятора (3) при условии

Мы не можем перебором испытать все возможные варианты изменений параметров модели объекта, чтобы проследить все возможные изменения свойств замкнутой системы. Поэтому приходится на каких-то вариантах останавливаться. Предлагается предварительно изменять только один из двух параметров, чтобы исследовать, остается ли система устойчивой, сохраняет ли она свои важнейшие свойства: точность, отсутствие колебаний, быстродействие. Далее предлагается одновременное изменение обоих коэффициентов. Для того, чтобы на графиках результат был достаточно наглядным, предлагается в этом случае сначала проверить изменение свойств при одинаковом кратном увеличении и уменьшении каждого из двух коэффициентов, после этого предлагается исследование изменений свойств при изменениях коэффициентов в противоположных направлениях, то есть при увеличении одного коэффициента и кратном уменьшении другого коэффициента, и наоборот.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На Рис. 2 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 10 единиц и при изменении коэффициента  $a_1$ . Этот коэффициент имеет номинальное значение, равное 2, поэтому использовано увеличение и уменьшение этого коэффициента в 2 и в 4 раза. Таким образом, этот коэффициент принимает значения 0,5; 1; 2; 4 и 8. Видно, что при увеличении этого коэффициента длительность переходного процесса существенно возрастает. При уменьшении этого коэффициента быстродействие возрастает, причем при значении  $a_1 = 1$  переходный процесс даже характеризуется более лучшими параметрами, чем при номинальном значении, а при значении  $a_1 = 0,5$  в переходном процессе хотя и

появляется перерегулирование, оно составляет только 15%, так что это процесс можно вполне считать приемлемым.

На Рис. 3 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 2 единицы и при изменении коэффициента  $a_1$ . Тенденция приблизительно такая же, однако, наилучший процесс все же имеет место при номинальном значении этого параметра, при значении  $a_1 = 0,5$  перерегулирование в переходном процессе достигает 25%.

На Рис. 4 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 0,5 единицы и при изменении коэффициента  $a_1$ . Переходные процессы уже изначально имеют перерегулирование. При номинальном значении  $a_1 = 2$  перерегулирование составляет около 11%, при уменьшении этого коэффициента в 2 и в 4 раза перерегулирование несущественно возрастает, достигая, соответственно, 12% и 13%. При увеличении этого коэффициента перерегулирование снижается до 4%.

Далее исследуем влияние второго коэффициента, для этой цели вернем первый коэффициент к номинальному значению.

На Рис. 5 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 0,5 единицы и при изменении коэффициента  $a_2$ . Как уже сказано выше, при этом входном сигнале переходные процессы уже изначально имеют перерегулирование. При номинальном значении  $a_2 = 5$  перерегулирование составляет около 11%, при уменьшении этого коэффициента в 2 и в 4 раза перерегулирование несущественно возрастает, достигая, соответственно, 12% и 13%. При увеличении этого коэффициента перерегулирование снижается до 4%.

На Рис. 6 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 5 единиц и при

изменении коэффициента  $a_2$ . Уменьшение этого коэффициента увеличивает быстродействие системы, а увеличение этого коэффициента

уменьшает быстродействие и увеличивает перерегуливание.

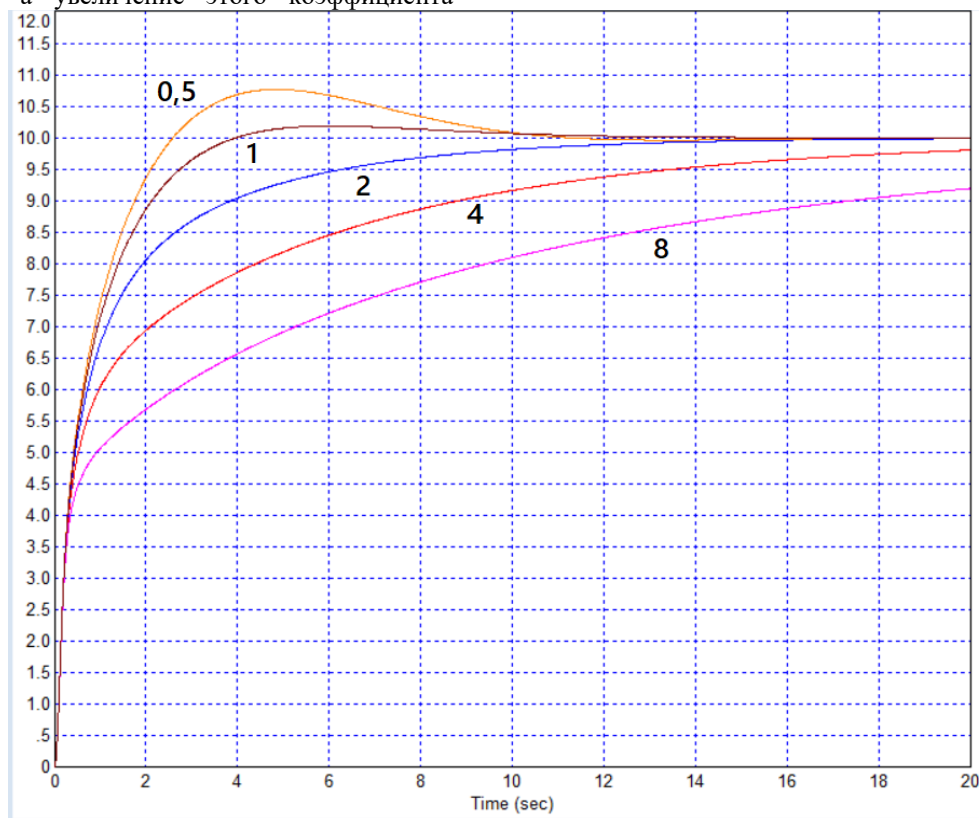


Рис. 2. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 10 единиц и при изменении коэффициента  $a_1$ : значения коэффициентов написаны рядом с графиками

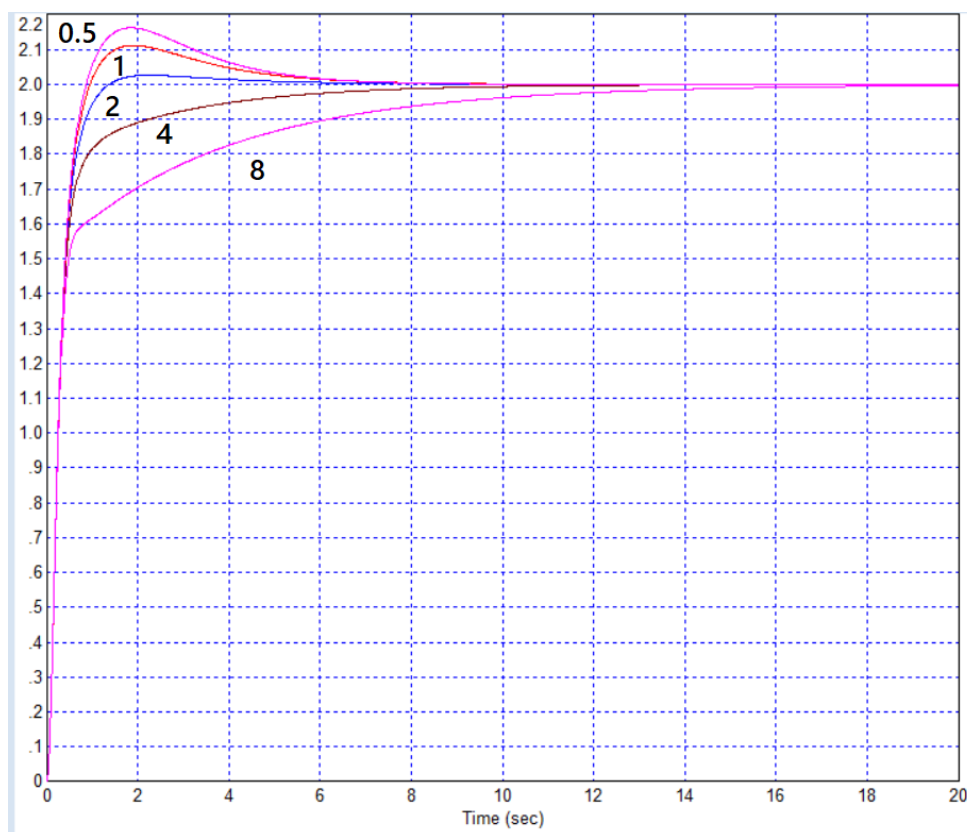




Рис. 3. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 2 единицы и при изменении коэффициента  $a_1$ : значения коэффициентов написаны рядом с графиками

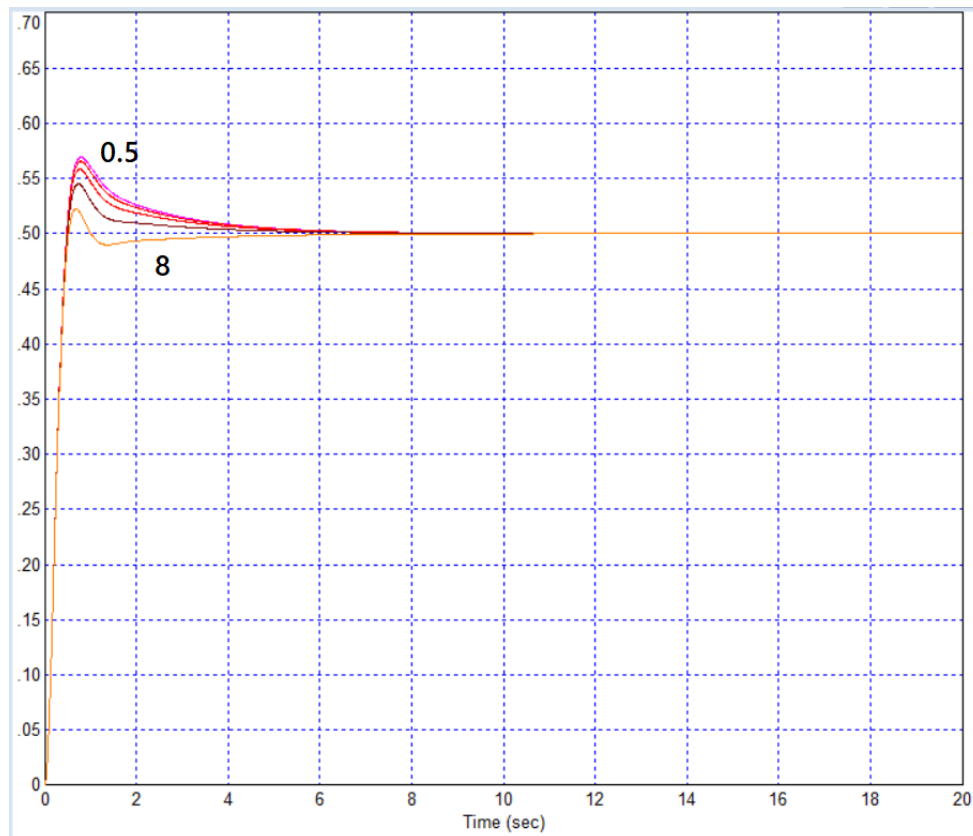


Рис. 4. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 0,5 единицы и при изменении коэффициента  $a_2$ : значения коэффициентов написаны рядом с графиками

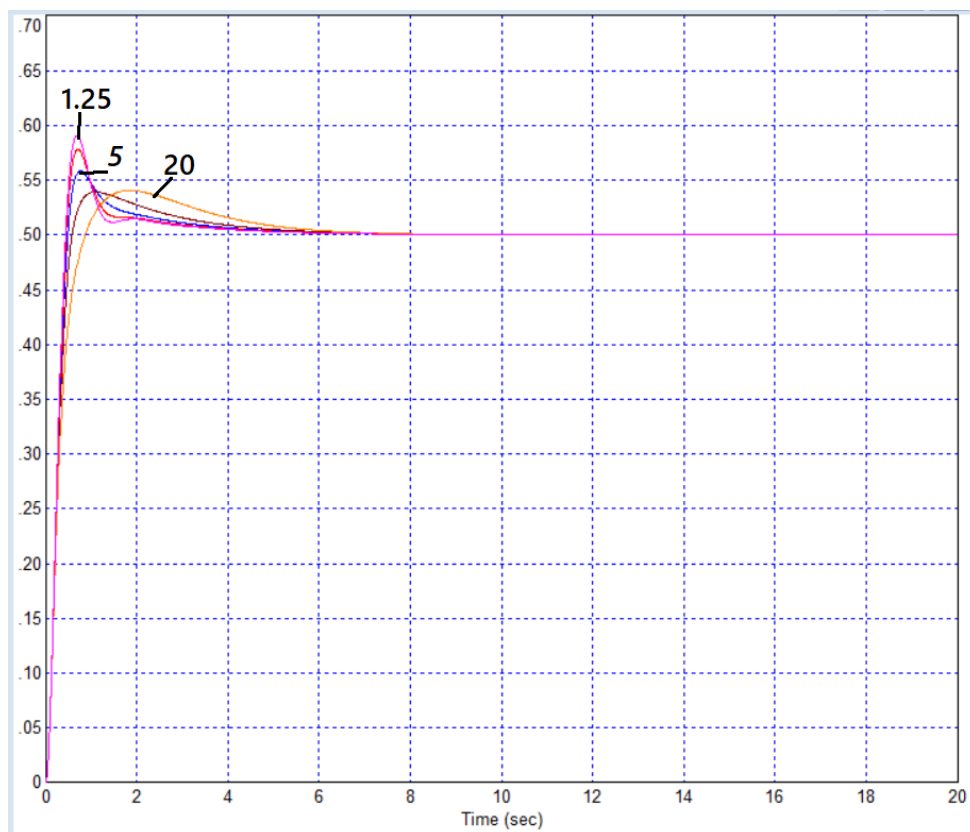


Рис. 5. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 2 единицы и при изменении коэффициента  $a_2$ : **основные** значения коэффициентов написаны рядом с графиками

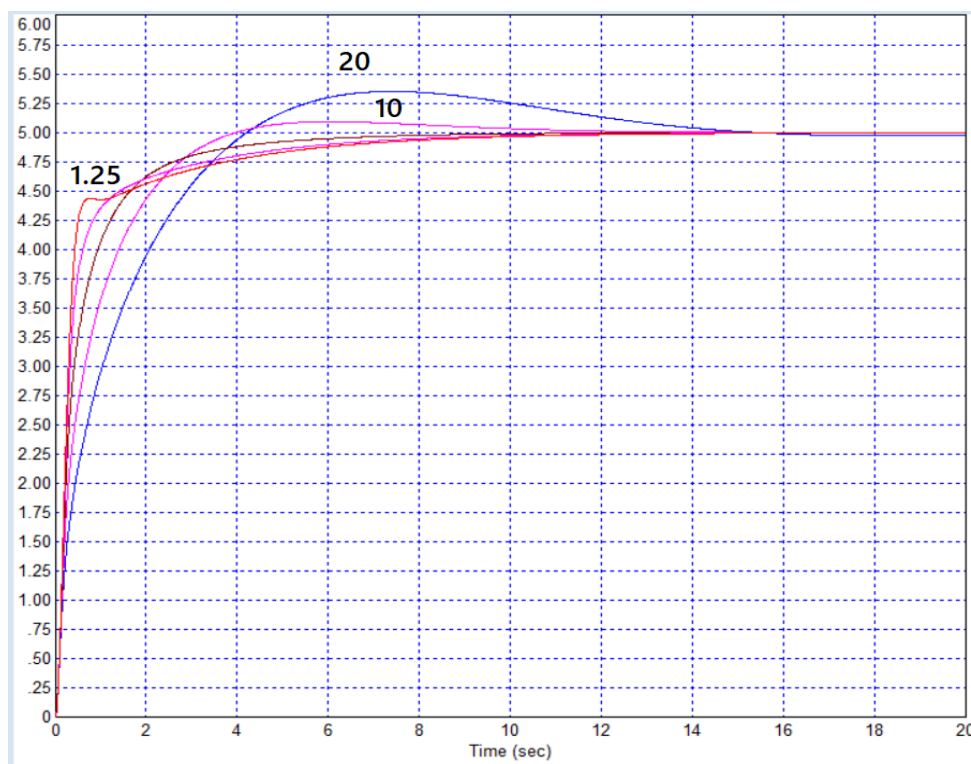


Рис. 6. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 5 единиц и при изменении коэффициента  $a_2$ : **основные** значения коэффициентов написаны рядом с графиками

На Рис. 7 показаны переходные процессы при амплитуде входного сигнала 20 единиц и при изменении коэффициента  $a_2$ . Уменьшение этого коэффициента несущественно влияет на переходный процесс, можно отметить, что это лишь слегка увеличивает быстродействие системы. Увеличение этого коэффициента в этих условиях вдвое несколько уменьшает быстродействие, но увеличение этого коэффициента вчетверо влияет на поведение системы катастрофически: система после достижения значения примерно в 12 единиц далее уменьшает выходной сигнал сначала до квазистационарного уровня чуть менее 11 единиц, но постепенно это значение медленно уменьшается, после чего процесс срывается в область отрицательных бесконечно возрастающих по величине значений, то есть система теряет устойчивость. Можно отметить, таким образом, что при входном сигнале в 20 единиц значение второго коэффициента на уровне  $a_2 = 20$  фатально.

Это заставляет предположить, что крайнее значение для параметра  $a_1$  также может привести к потере системе устойчивости при задании, равном 20 единиц. Поэтому мы осуществим дополнительные испытания, результаты которых показаны на Рис. 8. Таким образом, на Рис. 9 показаны переходные процессы при входном сигнале, равном 20 единиц при изменении коэффициента  $a_1$ . Как видим, система остается устойчивой при всех значениях этого параметра

в пределах предыдущего диапазона для этой величины. С ростом этого коэффициента быстродействие системы падает достаточно существенно.

На Рис. 10 показаны переходные процессы в системе при входном значении сигнала, равном 5 единиц. Наряду с процессом, характерным для номинальных значений параметров объекта, приведены процессы, в которых оба коэффициента изменены вчетверо. Если оба коэффициента уменьшены вчетверо, переходный процесс становится более быстрым, но возникает небольшое перерегулирование, равное приблизительно 3.5%. Если оба коэффициента увеличены вчетверо, быстродействие системы заметно снижается, перерегулирования не возникает. На Рис. 11 показаны переходные процессы, когда параметры изменяются в противоположном направлении. Если параметр  $a_1$  вчетверо уменьшается, тогда как параметр  $a_2$  вчетверо увеличивается, перерегулирование в системе существенно увеличивается, достигая почти 20%, и быстродействие при этом уменьшается, то есть процесс ухудшается по всем параметрам. Если же  $a_1$  вчетверо увеличивается, тогда как параметр  $a_2$  вчетверо уменьшается, тогда перерегулирования не возникает, но процесс также очень сильно увеличивает свою длительность, кроме того, в ходе развития процесса имеется некоторый небольшой участок

с обратным ходом процесса, но эта особенность формально не считается слишком существенной.

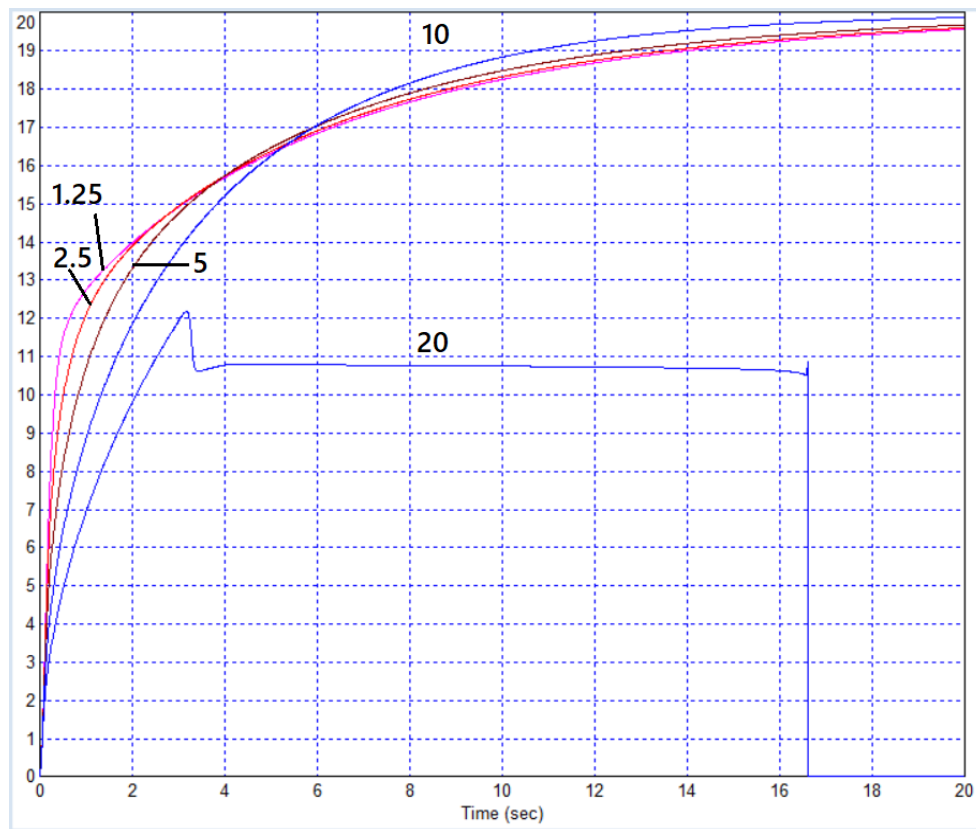


Рис. 7. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 20 единиц и при изменении коэффициента  $a_2$ : значения коэффициентов написаны рядом с графиками

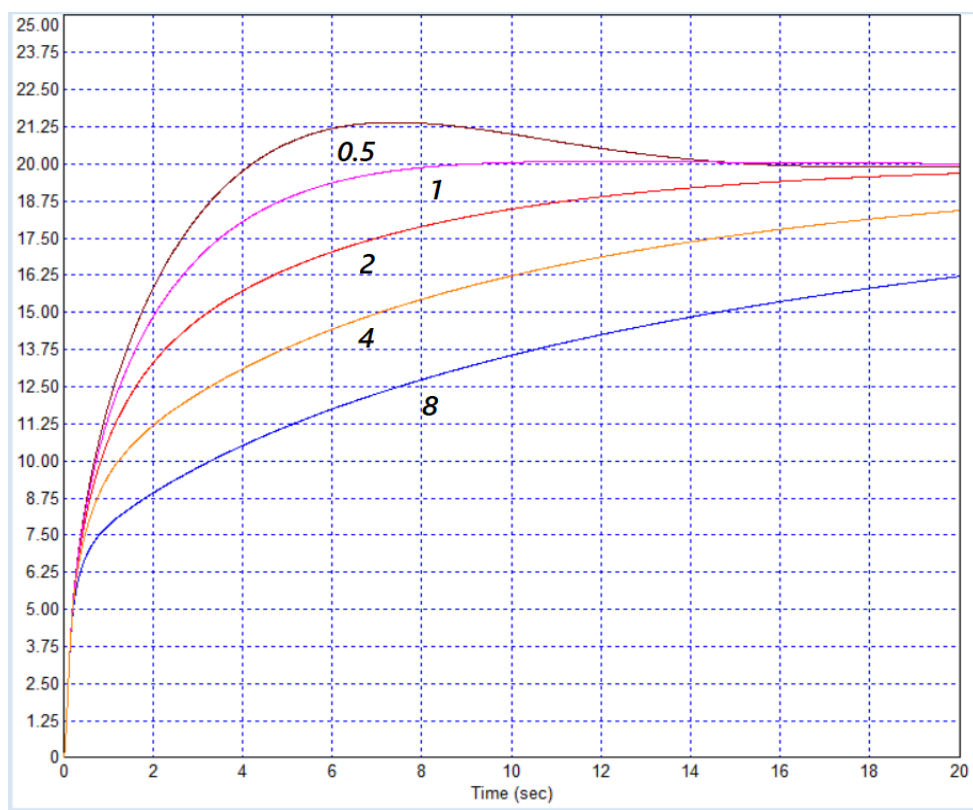


Рис. 7. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала 20 единиц и при изменении коэффициента  $a_1$ : значения коэффициентов написаны рядом с графиками

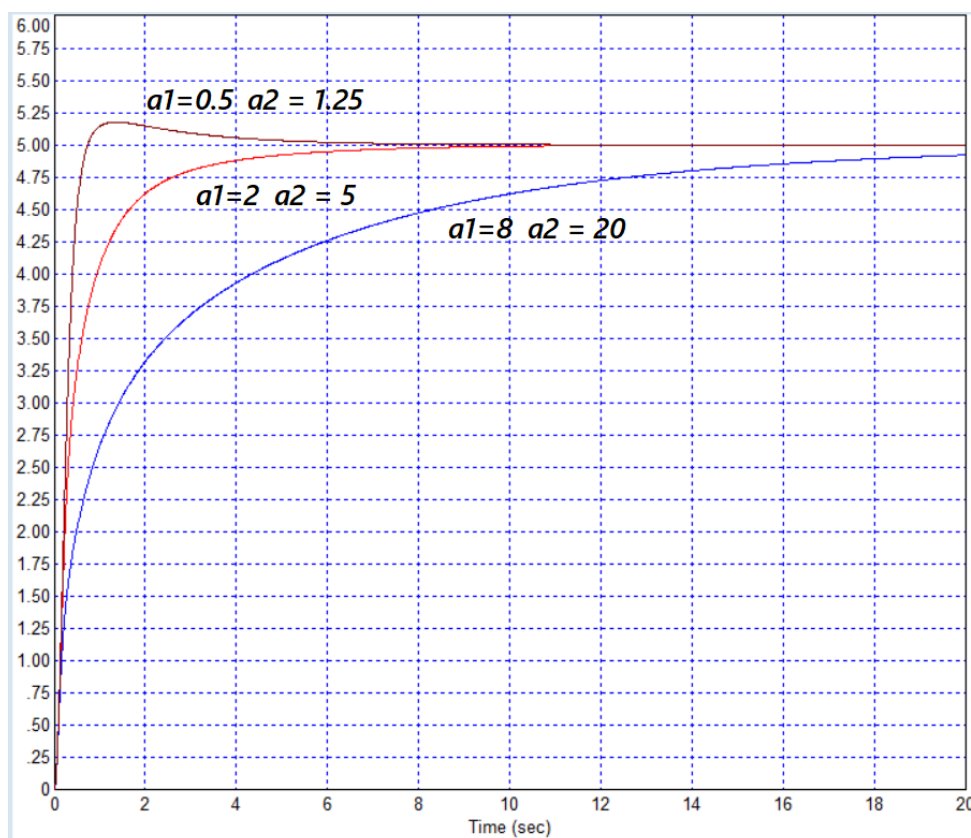


Рис. 8. Переходные процессы, когда параметры изменяются в одинаковом направлении

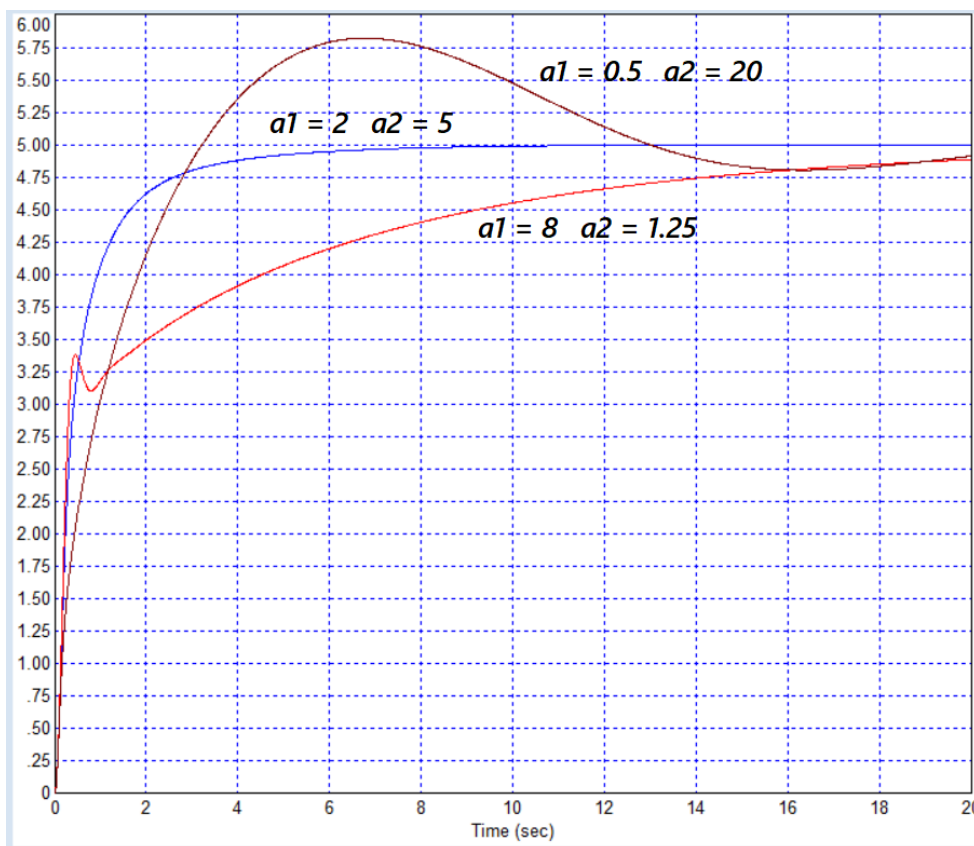


Рис. 9. Переходные процессы, когда параметры изменяются в противоположном направлении



## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Точки, в которых осуществлены испытания, показаны на *Рис. 10*. При этом в большинстве точек испытания осуществлены при трех значениях входных сигналов или более. Если эти точки представить в логарифмическом масштабе, точки лягут более равномерно.



*Рис. 10.* Точки испытаний: по оси абсцисс параметр  $a_1$ , по оси ординат параметр  $a_2$

Можно утверждать на основании выполненных исследований, что если изменения параметров модели в 2 и даже в 4 раза изменяются, то в пределах средних значений входных сигналов система остаётся устойчивой, хотя качество её в большинстве случаев ухудшается. Безусловно, эта система обладает достаточной грубостью, что является важнейшим свойством такой системы. В небольшом диапазоне этих изменений можно даже считать систему робастной, то есть она будет выполнять свои функции, например, если параметры изменяются в 1,5 – 2 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Асет, М.Е. Мансурова, В.А. Жмудь. Управление нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями. Автоматика и программная инженерия. 2022. 2 (40). С. 71–87.
- [2] Жмудь В. А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim.: учеб. пособие / Новосиб. гос. техн. ин-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012.: учеб. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 124 с.
- [3] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. - 126 p
- [4] Жмудь В. А. Численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim: новые структуры и методы: монография / В. А. Жмудь. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2016. - 252 с. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [5] Востриков А.С., Воевода А.А., Жмудь В.А. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2005. № 3 (21). С. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [6] Design of robust systems by means of the numerical optimization with harmonic changing of the model parameters. Zhmud V.A., Reva I.L., Dimitrov L.V. In book: Journal of Physics: Conference Series. 2017. С. 012185.
- [7] Zhmud' V.A Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Асхат Асет** - Докторант Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева по специальности: 8D07103 Автоматизация и управление; Должность: старший преподаватель Казахский национальный университет им. аль-Фараби; Телефон: 8707 234 89 66; E-mail: [aset.asxat@mail.ru](mailto:aset.asxat@mail.ru)

Статья получена 22.07.2022

# Investigation of the Stability Margin of a Control System for a Nonlinear Plant with Many Nonlinear Feedbacks when the Parameters of its Model Change

A. Aset

Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeeva, Almaty, Kazakhstan

*Abstract.* The paper [1] describes the method and result of designing a controller for a nonlinear plant. A PID controller is proposed, test signals are proposed that are not typical for a similar problem of controller synthesis for a linear plant, and a specific numerical solution is also proposed. In the final part of the article, modeling was carried out, confirming the success

of solving the problem. However, this article did not carry out a detailed check of how this solution of the problem is stable in the event of a change in the coefficients of the nonlinear model of the object. This can be verified by additional simulations. The situation is complicated by the fact that, firstly, transient processes depend on the amplitude and shape of the input signal, and secondly, there are several coefficients in the object model. In particular, there are two coefficients that determine the depth of non-linear feedback. The article proposes a method for this verification and its results.

*Key words:* verification, testing, robustness, roughness, automation, PID controller, control, nonlinear plant, numerical optimization, modeling, cost function

## REFERENCES

- [1] A. Aset, M.E. Mansurova, V.A. Zhmud. Control of a Non-Linear Plant with Many Non-Linear Feedbacks. *Automatics & Software Engineering*. 2022, N 2 (40). P.71–87.
- [2] Zhmud V. A. Modelirovaniye i chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim.: ucheb. posobiye / Novosib. gos. tekhn. in-t. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2012.: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud'.: NGTU, 2012. – 124 s.
- [3] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. – 126 p
- [4] Zhmud V. A. Chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim: novyye struktury i metody: monografiya / V. A. Zhmud. – Novosibirsk.: Izd-vo NGTU, 2016. - 252 s. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [5] Vostrikov A.S., Voyevoda A.A., Zhmud' V.A. Effekt ponizheniya poryadka sistemy pri upravlenii po metodu razdeleniya dvizheniy. *Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005. № 3 (21). S. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [6] Design of robust systems by means of the numerical optimization with harmonic changing of the model parameters. Zhmud V.A., Reva I.L., Dimitrov L.V. В сборнике: *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. С. 012185.
- [7] Zhmud' V.A Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. *Avtometriya*. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Askhat Aset** – PhD-student of Almaty University of Energy and Communications. G. Daukeeva, specialty: 8D07103 Automation and control; Position: Senior Lecturer Kazakh National University. al-Farabi; Phone: 8707 234 89 66; E-mail: [aset.asxat@mail.ru](mailto:aset.asxat@mail.ru)

The paper has been received on 22/07/2022.

## Теория единого поля

Б.Х. Рустемов

Туркменский педагогический институт имени Сейитназара Сейди, Туркменабат, Туркменистан

*Аннотация.* В работе сообщается о создании новой аксиоматической теории, претендующей на звание «теории единого поля». Излагается методика построения теории единого поля, разработанной автором. На основе выдвинутых гипотез путем обобщения математических выражений физических понятий и законов выявлено так называемое «основное отношение» как основной закон физики, которое позволило нарисовать целостную картину мира в виде диаграммы Эйлера – Венна. Логические следствия, выводимые из целостной картины мира, позволили построить систему аксиом теории. Основным законом физики и системой аксиом теории явилось утверждение того, что математической структурой физических законов является поле рациональных чисел. Теоремы, характеризующие данную математическую структуру, образует ядро теории. Группы автоморфизмов данной математической структуры позволили классифицировать и систематизировать физические законы. В рамках данной теории первый закон Ньютона, принцип относительности, второй закон термодинамики впервые выражаются в виде теоретических законов, а также предсказывается существования закона о неинерциальных системах отсчета и закон, частным проявлением которого является формула линзы. В представленной теории все законы философии «находят» свои математические выражения. Оформление законов физики как законы причинности делает их универсальными, всеобщими, а теорию – единой. Теоретические законы физики теории единого поля объединяют фундаментальную теорию с теорией относительности. В эпицентре теории находится человек, более конкретно организация его мышления на основе причинно-следственных связей. Человеческое мышление построено таким образом, что оно способно анализировать именно причинно-следственную последовательность протекания любых процессов, т.е. такой путь познания изначально заложен в структуре мозга человека. Мы не можем отказаться от человеческого фактора в понимании законов природы. Теория единого поля объединяет не только классическую механику с теорией относительности, она объединяет всю фундаментальную физику путем ее «ньютонизации».

*Ключевые слова:* теория единого поля, физические законы, поле, математическая структура, причинно-следственная связь, отношение эквивалентности, закон композиции, целостная картина мира, аксиомы теории, ядро теории.

### ВВЕДЕНИЕ

«Когда начинает казаться, что все открытия в физике сделаны, на место такой физики, приходит новая физика».

О.Н. Репченко

В XXI веке одной из характерных черт науки, прежде всего физики, является ожидание построения теории единого поля. Что мы ожидаем от этой теории? Прежде всего, мы хотим от нее адекватного описания всех физических явлений на основе единого первичного поля. Теория единого поля более века остается актуальным направлением научных исследований. Актуальность проблемы заключается в установлении теоретических законов, объединяющих в одно целое физический мир. Необходимость единой теории поля диктуется сложившимся «кризисом физики, астрофизики и астрономии, который очевиден всякому, кто пытается составить круг определенных фиксированных представлений о законах неживой природы» [1]. Построение теории единого поля – веление времени.

Идея о возможности построения теории единого поля принадлежит А. Эйнштейну. Знаменитый ученый мечтал в рамках данной теории объединить гравитационное и электромагнитное поля, т.е. слить эти два поля воедино. Эйнштейн глубоко верил в причинность и был убежден, что посредством чисто математических конструкций можно найти те понятия и закономерные связи между

ними, которые дадут нам ключ к построению единой теории. Однако, поиски Эйнштейна не привели к общепризнанным результатам, проблема построения теории единого поля и по сей день остается открытой.

Ссылаясь на самого Эйнштейна, В.А. Жмудь пишет: «Создание единой теории поля – заветная мечта А. Эйнштейна. Но именно он со своими теоретическими нагромождениями, некорректно выведенными из экспериментов других физиков с использованием логических ошибок и математических неточностей, создал такое новое мировоззрение в физике, которое отодвинуло понимание глубоких основ полевых взаимодействий, как минимум, на 120 лет» [1]. Несмотря на это, незавершенную теорию единого поля и многолетние изыскания исследователей нельзя считать неудачей. В результате исследований целого поколения ученых к настоящему времени в науке накоплен достаточно надежный материал, необходимый для окончательного построения единой теории. Осталось только их поставить по «полочкам» и объединить их в единую систему. По этому поводу Шредингер писал: «Мы унаследовали от наших предков острое стремление к объединенному, всеохватывающему знанию. Мы ясно чувствуем, что только начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы объединить в одно целое все, что нам известно; но, с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более чем какой-либо одной небольшой специальной частью науки. Я не вижу выхода из

этого положения, если некоторые из нас не рискнут взяться за синтез фактов и теорий, хотя бы наше знание некоторых из этих областей было неполным и полученным из вторых рук, и, хотя бы мы не подвергались опасности показаться невеждами» [2].

#### ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРИИ ЕДИНОГО ПОЛЯ

Стало традицией, что многие ученые, работающие над проблемой создания единой теории, называют эту теорию «единой теорией поля», которая не соответствует ее содержанию, т. к. целью данной теории является не объединение всех физических теорий в одну теорию, а замена всех физических полей одним абстрактным первичным полем, которое является «конституцией» физического мира. Причиной этому является неудачный перевод, хотя на английском языке название теории пишется как «Unified field theory», которое соответствует истине.

В современной литературе наряду с термином «теория единого поля» используется термин «теория всего». Теория всего – это ироничное название теории единого поля. В отличие от теории единого поля при создании теории всего исследователи могут построить ее без использования полей. В течение более тридцати лет было предложено множество таких теорий, «при построении которых сосредоточивают основное внимание на подборе соответствующего математического формализма. Зачастую новый формализм использует понятия, величины и связи между ними, физический смысл которых пока еще не ясен, и требует дальнейшего установления их соотношенности с реальными объектами. Главным условием включения таких гипотетических понятий – объектов – являются их связь и соответствия фундаментальным законам природы. Наряду с этим необходимо, что гипотетические понятия – объекты – соответствовали и философско-методологическим требованиям, принципам. В случае их несовместимости с этими требованиями возникают определенные сомнения в существовании реальных референтов этим понятиям» [3].

Какие трудности испытывал Эйнштейн и что явилась «преградой» на пути построения теории? Подводя итог тридцатилетней научной работы над проблемой, Эйнштейн писал: «Чудовищная проблема, которой я поработан, похищает мою свободу и чувства... достижение цели не удается, т. к. отказывает математика» [4].

Современные достижения в понимании понятия «физическое поле» приводят к мысли о том, что Эйнштейн не смог связать понятие «физическое поле» с понятием «числовое поле» или не был знаком существованием последнего,

хотя оно было введено в математику еще 1893 году американским математиком Э. Г. Муром. Вот где «споткнулся» Эйнштейн. Подтверждением этому являются следующие строки В.А. Жмудя: «Трудности, а, возможно, и неверные рассуждения, могут порой возникать не только вследствие недостаточного развития математики (или скажем шире – смежных областей знаний), но и недостаточным овладением этими знаниями» [1]. С такой критикой в адрес Эйнштейна нельзя не согласиться. Удивляет тот факт, что Эйнштейн даже не был знаком исследованиями П. Кюри. Ведь именно он утверждал, что «поле всякой величины, представляет ли он собой скаляр, вектор или тензор, обладает в каждой точке известной симметрией. Группа симметрии поля – это группа тех преобразований координат, которые оставляют неизменным значения компонент этих физических величин, соответствующих каждой точке поля. Всякое физическое явление можно представить себе как взаимодействие полей. Тогда группа симметрий этого физического явления будет общей подгруппой симметрии всех полей, участвующих в этом взаимодействии» [5].

В известных лекциях Р. Фейнмана мы встречаем слова: «Лучше всего пользоваться абстрактным представлением о поле. Жаль конечно, что оно абстрактно, но ничего не поделаешь» [6]. Следуя этому он объясняет закон Кулона следующим образом: «В каждой точке пространства имеется некоторое число (именно число, а не механизм: в том то и вся беда с физикой, что она должна быть математической) и когда вы переходите с место на место, меняется. Если в какой-то точке пространства поместить предмет, то на него будет действовать сила в том направлении, в котором быстрее всего изменяется это число» [7].

О.Н. Репченко в своей книге «Полевая физика или как устроен Мир» пишет: «К описанию нашего мира больше подходит модель, в которой все объекты встроены в некое единое «полотно», где все взаимодействует со всем посредством этого «полотно» ... Что же это за «полотно», связывающее все объекты? Честно будет сказать, что мы до конца не знаем этого. Видимо, подобное «полотно» – это некий базовый материал, из которого «соткан» наш Мир. Некоторая не материальная сущность, которая стоит за всеми видимыми объектами. Это – полевая среда» [8]

Нематериальная полевая среда – это абстрактное, т. е. числовое поле. Числовое поле – это некоторая математическая структура, ранее не связывающийся с реальностью, это – то единое первичное поле, которое «искал» Эйнштейн. Здесь ему «не хватило» философии. Подтверждением этому служит его следующие строки: «Как может математика, порождение человеческого разума, независимо от



индивидуального опыта, быть таким подходящим способом описывать объекты в реальности? Может ли человеческий разум, силой мысли, не прибегая к опыту, постичь свойство Вселенной?» [9]. Так и ему не удалось «восходить» от конкретного к абстрактному, следовательно, и от абстрактного к конкретному, чтобы построить теорию единого поля. Причиной этому является пренебрежение философии физикой, хотя она является для нее «родительским домом». Физика так далеко отошла от «родительского дома», даже родной язык стал для нее непонятным, чтобы прислушаться «к советам родительского дома».

Восхождение от абстрактного к конкретному, состоящий в движении теоретической мысли, ко все более полному, всестороннему и целостному воспроизведению объекта. Абстрактное в диалектической традиции понимается в широком смысле как «бедность», односторонность знания, а конкретное – как его полнота, содержательность. В этом смысле восхождение от абстрактного к конкретному характеризует направленность научно-познавательного процесса в целом – движение к более содержательному знанию [10].

Абстрактное, т.е. числовое поле является исходным, отправным пунктом развертывания теории, а физическое поле выступает как конкретное, имеющее определенное содержание.

Числовое поле, если выразиться простыми словами «есть множество, для элементов которого определены операции сложения, взятия противоположного значения, умножения и деления (кроме деления на ноль), причем свойства этих операций близки к свойствам обычных числовых операций» [11].

Числовое поле – это множество чисел, образующий «порядок» [12]. Согласно учению Пифагора, основа мира – не материальное первоначало, а число, который образует космический порядок. Познать мир – значит познать управляющие им числа. Пифагорейцы видели в числе и математических отношениях объяснения скрытого смысла явлений, законов природы [13].

Ю.И. Манин пишет, что главная цель физических теорий – найти число, причем с достаточной точностью. Свое утверждение обоснует он следующим образом: «Способность теории найти число – полезный критерий правильности понимания. Числа в физике – чаще всего значения физических величин, описывающие состояния физических систем. Величина – это родовое имя для таких абстракций как расстояние, время, энергия, действие, вероятность, заряд и т.п. В свою очередь состояние системы характеризуется значениями

на нем достаточно немного набора физических величин, и систему естественно всего описывать заданием множества возможных ее состояний [14].

Физическая величина на языке Пифагора – монада. Понятие «монада» введено в науку Пифагором. Как он полагал, весь мир не что иное, как иерархия монад. Каждая монада представляет Вселенную. Отношение двух монад – диада, а ансамбль из трех монад – триада. Монады упорядочены отношениями подчинения. Триада – заверченный ансамбль монады и диады. Пифагор утверждал, что закон триадичности есть универсальный закон мироздания. Пифагорейцы верили, что рациональные числа помогают объяснить устройство Вселенной [15].

В физике монада – это не атом и не элементарная частица, как полагают некоторые ученые, а физическая величина, характеризующая данное явление, как структурная, субстанциональная единица бытия. Триада в физике – это математическое выражение физического закона, объединяющее три физические величины.

Многие ученые в известных высказываниях утверждали, что все физические явления и законы описываются математически. Если Галилео Галилей утверждал, что Вселенная – это великая книга, написанная на языке математики, Рене Декарт, развивая и конкретизируя эту идею, считал, что все явления «существуют» в одной математической структуре.

Безумная идея, как считает Ю.И. Манин, которая ляжет в основу будущей физической теории, будет осознанием того, что физический смысл имеет некоторый математический образ, ранее не связывающийся с реальностью [14]. П. Кюри, ссылаясь на М. Абрахама пишет: «Всякое физическое явление можно представить себе как взаимодействие полей<sup>4</sup>. Тогда группа симметрии этого физического явления будет общей подгруппой симметрии всех полей, участвующих в этом взаимодействии» [5]. Отсюда следует вывод о том, что симметрия – определяющая характеристика законы природы. Не закон удовлетворяет симметрии, а симметрия порождает закон [9]. Иерархия законов – эта иерархия групп симметрии. Симметрия одно из самых сильных средств, обеспечивающих целостность объемно пространственной формы. Общие симметричные свойства описываются с помощью теории групп. Теория групп – это раздел общей алгебры, изучающей алгебраические структуры, называемые группами, и их свойствами [16]. Вот почему необходимо определить математическую структуру физических законов для построения теории единого поля.

<sup>4</sup> Полагаю, что поля друг с другом не взаимодействуют, а лишь складываются; поля взаимодействуют с частицами, частицы же

взаимодействуют друг с другом посредством полей – прим. Гл. редактора

Основная трудность вскрытия математической структуры физических законов связана, в первую очередь, с неправильным их математическим оформлением. Критикуя неправильное математическое оформление физических законов, Вигнер пишет: «Когда физик обнаруживает некое отношения между величинами, напоминающую эту связь, хорошо знакомую из математики, он немедленно приходит к заключению, что найденная закономерность как раз и есть та, которая рассматривается математикой, поскольку ничего другого, он не знает. Так формируется «безответственность» физики, питаемая священным пиететом перед всевластием математиков» [17]. Вследствие этого физика стала непонятной даже ее академиком, как пишет В.А. Жмудь [1]. «Физика превратилась лишь в описательную науку с ответами на вопросы «Как», но без ответов на вопросы «Почему?». Большинство разделов физики до сих пор не имеют наглядного качественного описания. Отсутствует понимание природы и механизмов протекания процессов. В современном физическом мировоззрении все это вообще приобрело статус непознаваемого. А физика свелась к формальному описанию явлений на языке «было – стало» [8]. Впрочем, в последние годы, как справедливо отмечает Ю.И. Манин, положение заметно улучшается [14]. Этому свидетельствуют современные теоретические исследования, связанные с выяснением математической структуры физических законов, целью которых является «наведения порядка» в оформлении этих законов.

Современная теоретическая физика – это роскошный, совершенно раблезианский полнокровный мир идей, и математик может найти в нем, что душе угодно, кроме порядка, к которому он привык. Поэтому хороший способ настроить себя на активное изучение физики – сделать вид, что ты пытаешься, наконец, навести в ней этот самый порядок [14].

Основной причиной «беспорядка» в физике является неправильное математическое оформление физических законов, открытые непрофессионалами – дилетантами как пивовар Джоуль, врач Майер, учитель Эрстед, теолог Ньютон, лаборант Фарадей, инженер Архимед и др., которые внесли огромный вклад в развитии физики. Не умаляя научные значения открытых ими законов, отметим, что эти законы оформлены как эквиваленты реальных законов физики. Они, по сути, являются «инженерными» законами, удобными инженерными формулами.

Чем отличается физический закон от «инженерного»? Ответом на этот вопрос может служить следующие строки В. Ерохина: «Физический закон построен не на реальных причинах (возможными приближениями пренебрегаем), поэтому описывает явление не только количественно, но и качественно,

вскрывает механизм описываемого им физического эффекта или явления. «Инженерный» может давать точный численный результат, но совершенно беспомощен в качественном плане» [18]. Далее Ерохин пишет: «В более сложных случаях подобные инженерные формулы, численные эквиваленты физических законов, считают реальными законами, и многие безуспешно пытаются понять причины явлений, исходя из этих искажений. Впрочем, такие попытки вскоре прекращаются за полной безнадежностью, с непониманием смиряются, а затем приходит убеждение, что знание количественных зависимостей и есть физика. Физика начинается после того, как найден физический механизм того или иного явления. До этого момента любые интеллектуальные построения можно охарактеризовать как заблуждения и фантазерство. Беда в том, что практически всегда отсутствует понимание ошибочности, временного характера существующих взглядов. Поэтому, когда одиночка, шагающий не в ногу со временем, эти заблуждения находит и предлагает их исправить, он встречает неприятие и бурное сопротивление. Высмеивали, например, Лавуазье, не понимавшего всем известного факта, что стихия воды враждебна стихии огня, и утверждавшего будто получил воду сжиганием водорода в кислороде. Жидкость – из газов. Отвергали Максвелла, предсказавшего несуществующие в природе электромагнитные волны, и т. д. Проще перечислить тех первооткрывателей, кто избежал неприятие, такое случается, когда проблема уже назрела, и идеи витают в воздухе» [18].

Как правильно оформить физический закон на языке математики?

Для правильного оформления физического закона недостаточно знание одной математики. Прежде чем писать формулу, надо понимать физическую сущность закона. Эйнштейн считает, что «главное – содержание, а не математика. Математикой можно доказать что угодно» [18].

Законы физики как законы природы – скелет Вселенной. Они служат ей опорой, придает форму, связывают воедино. Все они воплощают в себе умопомрачительную и величественную картину нашего мира. Однако важнее всего, наверное, то, что законы природы делают нашу Вселенную, познаваемой, подвластной силе человеческого разума [19].

Физический закон должен отвечать на вопросы «почему данное явление происходит так, а не иначе?», «Что является причиной, что – следствием?». «Научный закон всегда должен применяться при постоянных условиях и подразумевает причинные отношения между его элементами» [20].

Как пишет Ю.Г. Белостоцкий, «в природе всегда и везде действует причинность, которая и была заложена в основу классической физики.

Эта причинность нам не всегда видна, тем более что на любое рассматриваемое явление постоянно оказывает влияние множество дополнительных сопутствующих причин. Мы просто не в состоянии учесть такое множество. Для нас это очень сложно, хотя сама сложность определяется не сложностью отдельных элементарных природных актов (они очень просты), а сложностью многообразия их взаимосвязей, непременно реализующихся на основе триединства сущностей» [21].

Триединства сущностей – эта триада, состоящая из трех монад, которые упорядочены отношениями подчинения. Для двух монад существует так называемое «бинарное правило», согласно которому монады должны быть объединены как  $A \rightarrow B$ , а для триады  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , которое разбивается на три бинарных правила в предположении выполнения условия транзитивности  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $A \rightarrow C$  [22]. Отсюда следует, что математическое выражение физического закона должно быть оформлено как отношение строго порядка в виде  $a < b < c$ , где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – соответственно физические величины, характеризующие причину, следствие и условие (состояние объекта), причем величина  $c$  должна входить в соответствующую формулу параметром. (Знак «<» означает слово «предшествует»). Это следует из требования постоянства условий. Только такое математическое оформление физических законов позволяет их структурировать.

Структурирование – стратегия запоминания, при которой элементы запоминаемой информации связываются по какому-либо логическому основанию в целостную группу [23]. Структурирование упорядочивает исходную информацию, преодолевая ее хаотичность, раздробленность, позволяя человеку формировать целостную картину мира [24].

Структура предполагает порядок, без порядка не может быть речи о структуре. Это относится и к математическим выражениям физических законов. Не следуя к этим требованиям, предъявляемым к математическим выражениям научных законов, учитель физики может написать на доске закон Ома для участка цепи в виде  $I = \frac{U}{R}$ , не осознавая при этом, что «крутит киноплёнку в обратную сторону». Или другой пример. Закон всемирного тяготения принято записывать в виде  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ . В данном выражении  $F$  является физической величиной, характеризующая следствие, которая должна следовать за величиной – причиной, которая отсутствует в данной формуле. Такое положение в физике требует пересмотра математических выражений законов на основе современной математики – теории множеств. Теоретико-множественный язык хорош тем, что он не вынуждает говорить лишнего [14].

Еще в прошлом веке голландский ученый Г. Фройнденталь писал: «Современная физика живет такой математикой, но все же и в физике она не вполне приживается: редуцируют теории групп (физики говорят: групповую чуму) до классической алгебры и упускают при этом все преимущества групповой трактовки, а также ослабляют, насколько возможно, существенные абстракции в абстрактном анализе. Несомненно, что физики в своих стремлениях – с помощью специально для этого случая придуманных методов избежать современной математики к классическим методам – сами себя наказывают. В их же интересах следует подчеркнуть смысл современной математики» [25].

М. Тегмарк утверждает, что при вскрытии любой математической структуры  $S$  первым шагом должно быть нахождение ее группы автоморфизмов  $Aut(S)$ , которая кодирует ее симметрии [26]. Несмотря на научную значимость этого утверждения, следует отметить, что подход является Тегмарка методологически необоснованным. Такое замечание можно сделать и к теории Г. Лиси [27]. Согласно Р. Фейнману, «если мы будем слишком серьезно относиться к математическим доказательствам и считать, что одно справедливо только потому, что справедливо другое, то не сможем понять связь между различными отраслями физики. В тот день, когда станет полной, и мы будем знать все ее законы, мы, вероятно, сможем начинать с аксиом, и, несомненно, кто-нибудь придумает, как их выбрать, чтобы из них получить все остальное. Но пока мы не знаем всех законов, по некоторым из них можно угадывать теоремы, которые еще не имеют доказательств» [7].

Что такое математическая структура и как она определяется? Согласно определению Святослава Славкова, «Математическая структура – это множество, где между элементами (соответственно между его элементами и некоторыми его подмножествами) существуют соотношения и для них дефинированы некоторые операции, свойства которых описаны с помощью системы аксиом» [28]. Из этого определения следует, что вскрытие математической структуры физических законов становится возможным только на основе современной математики – теории множеств. Для определения математической структуры задают отношения, в которых находятся элементы этих множеств. Затем постулируют, что данные отношения удовлетворяют неким условиям, которые являются аксиомами рассматриваемой структуры.

Отношения, являются исходным пунктом в определении математической структуры, могут быть весьма разнообразными. Для определения математической структуры они должны быть особенными, т. е. триадами. Триадное описание создает целостную картину мира и открывает

путь к построению новой теории. Все вышесказанное о теории единого поля и математической структуре физических законов является теоретико-методологическим обоснованием построения теории единого поля.

### ЦЕЛОСТНАЯ КАРТИНА МИРА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ

Для вскрытия математической структуры физических законов были выдвинуты следующие гипотезы:

**Гипотеза 1.** Зависимость между физическими величинами, характеризующая причину и следствие, входящих в данную формулу физического понятия или закона, является прямо пропорциональной.

**Гипотеза 2.** Зависимость между величинами, характеризующие следствие и условие (состояние объекта), входящих в формулу физического понятия или закона, является либо прямо, либо обратно пропорциональной.

Систематизация и обобщение математических выражений физических понятий и законов на основе принципа причинности позволило определить искомые отношения в виде [29]

$$a = bc \quad (1)$$

и

$$a = \frac{b}{c}, \quad (2)$$

которые являются доказательством истинности выдвинутых гипотез [30]. Отношения (1) и (2) с точки зрения теории множеств являются равными. Данные отношения в представленном виде являются законами композиции. Чтобы данное утверждение было обоснованным, отметим, что отношение равенство является отношением эквивалентности. Если каждой упорядоченной паре элементов  $(a, b)$  ставится в соответствие один и только один элемент, тогда отношение эквивалентности называется законом композиции. Отсюда следует важный вывод о том, что физический закон, оформленный в соответствии с вышеуказанными требованиями, является законом композиции. Когда отношение в определении структуры является законом композиции, то структура является алгебраической. Таким образом, все трехзвенные формулы физических законов, обобщенные как причинно-следственные связи являются алгебраической структурой.

Как свидетельствует история развития физики, созданию каждой фундаментальной теории предшествует построение новой научной картины мира. Эйнштейн любил говорить, что новая теория, вероятно, никудашна, если не базируется на зримом образе, достаточно простом, чтобы понять его мог даже ребенок [17].

Отношение (1) является триадным описанием физического закона, «которое создает целостную

картину мира и повышает истинность знания» [22]. Данное отношение как эквивалентное отношение может быть изображено в виде диаграммы Эйлера-Венна (см. Рис. 1). Обоснованием этому служит возможность разбиения множества на классы, если отношение является отношением эквивалентности.

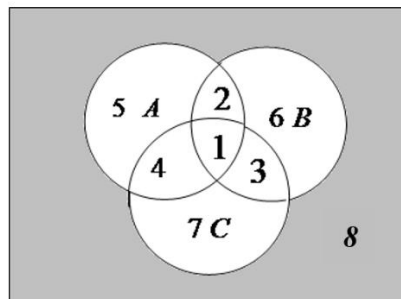


Рис. 1. Целостная картина мира

Диаграмма Эйлера-Венна в представленном виде является целостной картиной мира. Благодаря использованию математики эта картина удовлетворяет наиболее высоким требованиям в отношении строгости и точности выражения взаимозависимостей.

Таким образом, долгожданная картина мира перед нами открывает «свое лицо», демонстрируя свою привлекательность и красоту, раскрывает свои тайны, о которых мы только предполагали. Теперь стало возможным отвечать на вопрос «Что такое целостная картина мира и как она выглядит?». Целостная картина мира – это ментальная модель мира, выраженная в виде диаграммы Эйлера-Венна, которая выражает единство и целостность мира.

Что такое ментальная модель и в чем заключается ментальность целостной картины мира? Согласно определению, ментальные модели – это основанные на предыдущем опыте идеи, стратегии, способы понимания, существующие в уме человека и направляющие его действия. Ментальные модели используются для объяснения причин и следствий, а также придания смысла жизненному опыту [30]. Каждый образованный человек, любящий целостную картину мира, невольно осознает, что мир, в котором мы живем, един и целостен, происходящие в нем явления, события причинно обусловлены. В этом заключается ментальность целостной картины мира. Ментальность – глубинный уровень коллективного и индивидуального сознания, включающий и бессознательное, окончательно устойчивая совокупность установок и предрасположенностей индивида или социальной группы воспринимать мир определенным образом [31]. Утверждением этому являются следующие строки А. Андреева: «Когда видишь мир, как единое целое, управляемое законами природы, а не как большое число разрозненных явлений, представление о Вселенной становится более



связанным. Начинаешь видеть связи между, казалось бы, несвязанными вещами, упорядоченность во всем огромном разнообразии природных явлений. Видимо, это – главный дар науки нашему интеллекту, одно из величайших достижений человеческой мысли [32].

Как любая научная картина мира, целостная научная картина мира выполняет следующие три основные функции: систематизирует научные знания, объединяют их в сложные целостности; выступает в качестве исследовательских программ; обеспечивает объективацию научных знаний, т. е. большую достоверность, включение научных знаний в культуру [33]. Не останавливаясь подробно об этих функциях научной картины мира, отметим лишь, что основной ее задачей является логическое обоснование теории. Как отмечает В.А. Жмудь, «законы логики, как и законы математики – это один из важнейших инструментариев понимания картины мира, без логики науки быть не может» [1].

Целостная картина мира, позволяет на основе логических умозаключений установить следующие отношения:

1. В диаграмме Эйлера Венна  $A, B$  и  $C$  – числовые множества физических величин, характеризующих соответственно причину, следствие и условие. Как видно из диаграммы, круги, изображающие множества  $A, B$  и  $C$  пересекаются. Подмножества, образованные пересечением множеств  $A, B$  и  $C$  изображены в диаграмме и обозначены соответствующими числами от 1 до 8:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. $A \cap B \cap C$       | 5. $A \cap \bar{B} \cap \bar{C}$       |
| 2. $A \cap B \cap \bar{C}$ | 6. $\bar{A} \cap B \cap \bar{C}$       |
| 3. $\bar{A} \cap B \cap C$ | 7. $\bar{A} \cap \bar{B} \cap C$       |
| 4. $A \cap \bar{B} \cap C$ | 8. $\bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C}$ |

Из обозначений подмножеств, следует, что для каждого элемента множеств  $A, B$  и  $C$ , соответственно, обозначаемых  $a, b$  и  $c$ , существуют обратные элементы относительно операции умножения:

$$a \cdot a^{-1} = 1; b \cdot b^{-1} = 1; c \cdot c^{-1} = 1. \quad (3)$$

Отношения (3) позволяют сделать вывод о том, что алгебраической структурой физических законов является поле, т. к. коммутативное кольцо, содержащее не менее двух элементов, в котором всякий ненулевой элемент обратим, называется полем. Если выразится простыми словами, «алгебраическое (числовое) поле это есть множество, для элементов которого определены операции сложения, взятия противоположного значения, умножения и деления (кроме деления на нуль), причем свойства этих операций близки к свойствам обычных числовых операций» [34].

2. Из диаграммы Эйлера-Венна следует логический вывод о том, что мир, в котором мы живем, является областью целостности. Такой вывод на языке математики означает, если,

$$ab = 0, \text{ то, } a = 0 \text{ или } b = 0 \quad (4)$$

и служит обоснованием назвать представленную диаграмму Эйлера-Венна целостной картиной мира.

3. Для любых  $a$  и  $b$  из  $a < b$  следует, что ложно

$$b < a. \quad (5);$$

4. Для любых  $a, b$  и  $c$  из  $a < b$  и  $b < c$  следует

$$a < c. \quad (6)$$

Отношения (1) – (6) позволяют утверждать, что математической структурой физических законов является поле рациональных чисел. Эта та единственная математическая структура, которая характеризуется данными отношениями.

Отношения (3)–(6) являются аксиомами, которые не требуют доказательств. Эти отношения образуют систему аксиом теории. Аксиомы теории в представленном виде являются теоретико-множественными предикатами. Таким образом, представляется возможным построение теории единого поля аксиоматическим методом. Аксиоматизация физической теории путем определения теоретико-множественного предиката сближает физику с математикой на уровне обоснований [35]. Аксиоматические теории, при котором некоторые истинные утверждения избираются в качестве исходных положений – аксиом, из которых затем логическим путем выводятся и доказываются остальные истинные утверждения – теоремы этой теории [36].

### Ядро ТЕОРИИ

Структура является инструментальным в том смысле, что каждый раз, когда математик замечает, что между изучаемыми имеют место отношения, для которых выполняется аксиомы структуры определенного типа, то он сразу может воспользоваться всем набором доказанных теорем, относящихся к структурам этого типа [35]. Когда физическая теория на основе набора доказанных готовых теорем математической структуры, она описывается на языке математики, а физические предложения присоединяются не к аксиомам, а к теоремам [36]. Следуя этим правилам, ядро теории единого поля можно оформить в следующем виде, которое как готовая математическая структура, включает в себя основные свойства простого поля и поля рациональных чисел [37].

### Простейшие свойства поля

Пусть  $a, b$  – элементы поля  $\mathcal{F}$  и  $b \neq 0$ . Уравнение  $b x = a$  имеет в поле решение  $a b^{-1}$ ; легко проверить, что  $a b^{-1}$  является единственным решением уравнения. Элемент  $a b^{-1}$  обозначается символом  $\frac{a}{b}$  или  $a/b$ .

**Теорема 1.** Пусть,  $\mathcal{F} = \langle F, +, -, 1 \rangle$  – поле. Тогда для любых элементов поля  $a, b, c$ , где  $a, b, c$  – физические величины, соответственно характеризующие причину, следствие и условие.

Если

$$ab = 1, \text{ то } a \neq 0 \text{ и } b = a^{-1}; \quad (7)$$

$$\text{если } ac = bc \text{ и } a \neq 0, \text{ то } a = b; \quad (8)$$

$$\text{если } ab = 0, \text{ то } a = 0 \text{ или } b = 0; \quad (9)$$

$$\text{если } a \neq 0 \text{ и } b \neq 0, \text{ то } ab \neq 0; \quad (10)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \text{ тогда и только тогда, когда } ad = bc, b \neq 0 \text{ и } d \neq 0, \quad (11)$$

где  $c$  и  $d$  – физические величины, характеризующие внутренние и внешние условия

$$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}; \quad (12)$$

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}; b \neq 0, d \neq 0 \quad (13)$$

$$\frac{a}{b} + \frac{(-a)}{b} = 0 \text{ и } -\left(\frac{a}{b}\right) = \frac{-a}{b}; b \neq 0; \quad (14)$$

$$\text{если } a \neq 0 \text{ и } b \neq 0, \text{ тогда } \left(\frac{a}{b}\right)^{-1} = \frac{b}{a}; \quad (15)$$

$$\frac{ac}{bc} = \frac{a}{b}; b \neq 0, c \neq 0. \quad (16)$$

**Теорема 2.** Для любой области целостности существует поле частных. Если  $\mathcal{F}$  и  $\mathcal{P}$  – поля частных в кольце  $\mathcal{K}$ , то существует изоморфизм поля  $\mathcal{F}$  на поле  $\mathcal{P}$ , переводящий каждый элемент кольца  $\mathcal{K}$  в себя.

**Теорема 3.** Бинарное отношение  $<$  в причинно – следственных связях обладает следующими свойствами:

- 1) для любых  $a, b, c \in Q$   
если  $a < b$  и  $b < c$ , то  $a < c$  (транзитивность); (17)

- 2) для любых  $a, b \in Q$  имеет место одно и только одно из трех соотношений;  
 $a < b, a = b, b < a;$  (18)

- 3) для любых  $a, b, c \in Q$ ,  
если  $a < b$ , то  $a + c < b + c;$  (19)

- 4) для любых  $a, b, c \in Q$ ,  
если  $a < b$  и  $0 < c$ , то  $ac < bc.$  (20)

Из ядра теории с помощью логических умозаключений и математического анализа получают конкретные выводы или следствия теории. Они имеют смысл частных законов, отдельных физических фактов, значений физических величин и часто оформляются как некоторые физические задачи.

#### СЛЕДСТВИЯ, ВЫВОДИМЫЕ ИЗ ЯДРА ТЕОРИИ

Прежде чем перейти к изложению следствий отметим, что все отношения, которые включают ядро теории, по сути, являются теоретическими законами данной теории. Хотя эти законы проявляются через эмпирические и с их помощью получают свое подтверждение и

эмпирическое обоснование, они различаются по сущности и структуре.

**Следствие 1.** Из определения простого поля следует вывод о том, что все физические понятия и законы, оформленные в виде  $a=bc$  являются простыми законами. Несмотря на их простоту с математической точки зрения, они являются основными, т. к. вся физика держится на этих законах.

Такое оформление физического закона ставит точку долго продолжавшейся дискуссии вокруг вопроса “Второй закон Ньютона является ли законом или определением?”. Сейчас мы можем без каких-либо оговорок утверждать, что второй закон Ньютона является основным законом физики. На это указывает математическая структура основного закона физики. Согласно этой структуре, все трехзвенные формулы, физических понятий и законов, оформленные как закон причинности, являются основными эмпирическими законами физики. Отсюда следует вывод о том, что физические формулы, оформленные как причинно-следственные связи в виде  $\vartheta = \frac{s}{t}, \Delta v = at, F = PS, A = Fs, \vartheta = \frac{P}{m}, \rho = \frac{m}{V}, q = It, B = \frac{\Phi}{S}, I = \frac{\Phi}{L}$  и т.д. являются основными эмпирическими законами физики, хотя мы их считаем формулами связывающие одного физического понятия с другими. Физические законы не функциональные зависимости, а отношение строгого порядка, выражающее закон причинности.

**Следствие 2.** Из теоретического закона (7) Теоремы 1 следует, что для любого отличного от нуля рационального числа  $a$  существует обратное ему относительно умножения число  $b$ , т.е. такое, что  $ab = 1$ . Это число обозначают  $b = \frac{1}{a} = a^{-1}$ . Хотя в научно-методических работах отношение  $a = \frac{1}{b}$  отмечается как устойчивое, повторяемое отношение, но оно пока не приобрело статус закона, хотя является математическим выражением философского закона единства и борьбы противоположностей.

С математической точки зрения закон единства и борьбы противоположностей характеризует целостность системы. Эмпирический закон  $\frac{|F_{1,2}|}{|F_{2,1}|} = 1$  является законом единства действия и противодействия, т. е. математическим выражением третьего закона Ньютона. Эмпирический закон  $\frac{|F_{прит}|}{|F_{отт}|} = 1$  – законом единства притяжения и отталкивания,  $\frac{\Delta S}{S} = 1$  – закон единства упорядоченности и беспорядка, т. к. изменение энтропия является мерой упорядоченности, энтропия – мерой беспорядка системы. Закон  $\frac{|q_e|}{|q_p|} = 1$  является законом единства положительно и отрицательно заряженных частиц.

**Следствие 3.** Теоретический закон (8) теоремы 1 выражает закон сохранения энергии. С математической точки зрения, отношения  $a = b$  и  $b = a$  считаются равными, а с физической точки зрения, эти отношения означают симметрию относительно изменения начала отсчета времени –  $T$  – симметрию.

Частными законами по отношению к теоретическому закону  $a = b$ , являются закон сохранения энергии, первое начало термодинамики, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и др. Наличие закона сохранения энергии служит одним из критериев истинности теоретического построения.

**Следствие 4.** С математической точкой зрения, из теоретического закона (9) следует, что никакое поле не содержит делителей нуля. С физической точки зрения его можно интерпретировать как первый закон Ньютона, который является частным законом по отношению к этому теоретическому закону.

Самостоятельное значение этого закона, раскрывается в его понимании как причинно – следственного закона в виде (9) теоремы 1, согласно которому, если нет причины или следствия, то тело сохраняет свое первоначальное состояние. Глубокий смысл первого закона заключается в утверждении инерциальных систем отсчета.

**Следствие 5.** Теоретический закон (10) можно интерпретировать как закон, утверждающий о наличии неинерциальных систем отсчета. Согласно этому закону, существуют неинерциальные системы отсчета, относительно которых материальные точки, когда на них действуют силы и эти силы не компенсируются другими силами, движутся прямолинейно с ускорением или вращаются относительно инерциальной системы отсчета.

**Следствие 6.** Теоретический закон (11) может быть интерпретирован как философский закон перехода количественных изменений в качественные. Закон сообщающихся сосудов, закон гидравлического пресса, закон преломления света являются частными проявлениями данного закона.

**Следствие 7.** Частным проявлением теоретического закона (12) можно считать (при  $a = 1$  и  $b = 1$ ) формулу линзы, что позволяет рассматривать эту формулу как неполный физический закон. По праву, теоретический закон (12) ждет своего экспериментального подтверждения.

**Следствие 8.** Теоретический закон (13) может быть интерпретирован как переход к системе отсчета, движущейся относительно данной системы с постоянной (по направлению и величине) скоростью. Симметрия относительно этого преобразования означает, в частности, эквивалентность всех инерциальных систем отсчета.

**Следствие 9.** Теоретический закон (14) может быть интерпретирован как перенос (сдвиг) системы как целого в пространстве, т. е. зеркальная симметрия. Зеркальная симметрия в пространстве означает эквивалентность всех точек (однородность пространства). Согласно теореме Нётер, однородность пространства означает закон сохранения импульса. Данный теоретический закон является математическим выражением философского закона отрицания отрицания.

**Следствие 10.** Теоретический закон (15), с физической точки зрения, означает поворот системы как целого в пространстве. Симметрия физических законов, относительно этого преобразования, означает эквивалентность всех направлений в пространстве (изотропию пространства). Изотропии пространства соответствует закон сохранения момента импульса.

В классической механике момент импульса вводится для характеристики вращения и является следствием утверждения о том, что свойства окружающего мира не изменяются при поворотах (или при повороте системы отсчета).

**Следствие 11.** Частными проявлениями теоретического закона (16) являются газовые законы: закон Бойля-Мариотта, закон Гей-Люссака и закон Шарля.

**Следствие 12.** Согласно теореме 2, существуют объединенные физические законы, для которых характерно разделение их на две изоморфные дробные части. По сути, данная теорема является принципом симметрии и десимметрии Кюри, согласно которому определенные причины обуславливают появления соответствующих следствий, причем элементы симметрии причин должны повторяться в соответствующих следствиях [5].

В качестве примера проанализируем закон всемирного тяготения –  $F = G \frac{Mm}{r^2}$  и закон Кулона –  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , которые являются объединенными законами и их можно разделить на две изоморфные дробные части.

Анализируя закон Кулона, Фейнман приходит к выводу о необходимости для более глубокого раскрытия сущности закона разделения его на две части как  $\mathbf{E} = \frac{q_1 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$  и  $\mathbf{F} = q_2 \mathbf{E}$  [38]. Хотя такое разделение облегчает понимание закона, но не способствует раскрывать более глубокую сущность закона. Если закон Кулона разделить на две части в виде  $\varphi_E = \frac{F r}{q_2}$  и  $\varphi_E = k \frac{q_1}{r}$ , где  $\varphi_E$  – потенциал гравитационного поля, то можно дать ему следующую формулировку: Если к заряду  $q_1$  создающий электростатическое поле приблизить пробный заряд  $q_2 = 1$  Кл на расстояние  $r = 1$  м, то сила взаимодействия между зарядами будет численно равна потенциалу поля. Для закона всемирного

тяготения также можно поступать аналогичным образом. В этом случае закон разделяется в виде  $\varphi_G = \frac{F r}{m}$  и  $\varphi_G = G \frac{M}{r}$ , где  $\varphi_G$  – потенциал гравитационного поля. Теперь этому закону можно дать следующую формулировку: «Если к телу массой  $M$ , создающее гравитационное поле, приблизить тело с массой  $m = 1$  кг на расстояние  $r = 1$  м, то сила взаимодействия между ними численно будет равна потенциалу гравитационного поля». Такая запись и формулировка законов Кулона и всемирного тяготения, как с математической, так и с физической точки зрения является адекватной.

**Следствие 13.** Теоретическом закон (17) выражает неизменность временной последовательности причинно-связанных событий и не может быть нарушена или, говоря обыденным языком, время течет в одном направлении от прошедшего к настоящему.

Так как развитие нескольких следствий одной причины может происходить с различной скоростью (вследствие органической связи причинности с категорией времени), один из взаимных индексов может проявляться на некоторых участках пространства раньше, чем предмет или явление, индексом которого он служит. В качестве примера можно привести примера можно указать молнию, от которой мы принимаем световой сигнал раньше, чем звуковой.

**Следствие 14.** Теоретический закон (18) теоремы 3 выражает закон, указывающий невозможность сосуществования в данной системе необратимого, прямого и обратного, или обратимого процессов.

**Следствие 15.** Из теоретического закона (19) теоремы 3, как утверждает Я.П. Терлецкий, следует первый постулат специальной теории Эйнштейна [39]. Однако этот закон имеет более глубокое содержание и выражает инвариантность «последовательности событий» в любой инерциальной системе отсчета.

В. Стенджер объединил множество видов симметрии по тем, что мы называем инвариантность по отношению к наблюдателю (*point of view invariance*). Это означает, что законы физики должны оставаться неизменными, независимо от того, кто и как их наблюдает [40]. Признание этого закона ставит конец долго продолжавшейся дискуссиям и спорам вокруг специальной теории относительности Эйнштейна.

**Следствие 16.** Теоретический закон (20) выражает статистическую взаимосвязь между причиной и следствием. Данный теоретический закон является математическим выражением второго закона термодинамики. Такое выражение второго закона термодинамики ранее было получено Э. Лиобом и Дж. Ингвасоном [41].

Ограничиваясь вышеприведенными следствиями, отметим, что их число, которое можно вывести из ядра теории, является неограниченным, и они могут быть дополнены в будущем.

## КЛАССИФИКАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЗАКОНОВ ФИЗИКИ

Оказывается, что многие законы природы сами связаны с другими, еще более глубокими законами и т. д. В конце – концов, в самом центре «паутины» можно найти небольшое число законов, связывающих всю конструкцию воедино. Роль законов природы состоит в том, чтобы упорядочивать и выстраивать объекты, связывать то, что кажется между собой не связанным, создавать простой каркас, соединяющую Вселенную воедино [19]. Создание этого каркаса требует классификацию и систематизацию физических законов.

Как классифицировать и систематизировать физические законы? На этот вопрос ответ однозначный. Группы автоморфизмов, которые образует математическую структуру физических законов, позволяет классифицировать и систематизировать законов физики.

Что такое автоморфизм? «Аutomорфизм – математическое понятие, выражающее свойство одинаковости и строения каких-либо совокупностей (собраний) элементов, совершенно безразличное к природе этих элементов, если между двумя расположениями элементов одной и той же совокупности имеет место изоморфизм. Группа изоморфизмов носит также название группы Галуа поля» [42].

Классификация – система группировки объектов исследования или наблюдения в соответствии с их общими признаками [43]. Систематизация – процедура объединения, сведения группы однородных по некоторым признакам единиц к определенному иерархизированному единству [44].

Как видно из ядра теории первую группу автоморфизмов представляет один единственный закон, который может быть назван основным законом физики. Вторую группу образует отношения, характеризующие простые свойства поля. Следовательно, соответствующие законы являются фундаментальными законами физики. Как сказал Р. Фейнман, «мы называем их фундаментальными, потому что они простые» [7]. Третью группу автоморфизмов образует так называемые объединенные законы, а четвертую группу – производные законы, которые выводятся из первой и второй группы законов.

Ядро теории образует 15 законов различной группы автоморфизмов. Сердцевину теории и первую группу автоморфизмов образует единственный теоретический закон, который выражается в виде  $a = bc$ . Этот закон является основным и не выводимый из других законов



теории, который является основанием систематизировать десятки различных обобщений и эмпирические законы (см. Табл.1).

Таблица 1. Основные эмпирические законы физики

№	Физический закон	Причина, $a$	Следствие, $b$	Условие (состояние объекта), $c$
1	Скорость, $v = \frac{s}{t}$	$v$	$s$	$\frac{1}{t}$
2	Ускорение, $\Delta v = at$	$\Delta v$	$a$	$t$
3	Сила упругости, $\Delta x = \frac{F_{упр}}{k}$	$\Delta x$	$F_{упр}$	$\frac{1}{k}$
4	Сила трения, $N = \frac{F_{тр}}{\mu}$	$N$	$F_{тр}$	$\frac{1}{\mu}$
5	Сила тяжести, $g = \frac{F}{m}$	$g$	$F$	$\frac{1}{m}$
6	Сила давления, $F = PS$	$F$	$P$	$S$
7	Момент силы, $F = \frac{M}{l}$	$F$	$M$	$\frac{1}{l}$
8	Импульс тела, $v = \frac{p}{m}$	$v$	$p$	$\frac{1}{m}$
9	Механическая работа, $F = \frac{A}{s}$	$F$	$A$	$\frac{1}{s}$
10	Плотность вещества, $\rho = \frac{m}{V}$	$\rho$	$m$	$\frac{1}{V}$
11	Количество теплоты, $\Delta Q = C\Delta T$	$\Delta Q$	$C$	$\Delta T$
12	Теплота парообразования, $m = \frac{\Delta Q}{r}$	$m$	$\Delta Q$	$\frac{1}{r}$
13	Теплота плавления, $m = \frac{\Delta Q}{\lambda}$	$m$	$\Delta Q$	$\frac{1}{\lambda}$
14	Теплота сгорания, $m = \frac{\Delta Q}{q}$	$m$	$\Delta Q$	$\frac{1}{q}$
15	Электрический заряд, $e = \frac{q}{N}$	$e$	$q$	$\frac{1}{N}$
16	Сила тока, $\Delta q = \frac{I}{\Delta t}$	$\Delta q$	$I$	$\frac{1}{\Delta t}$
17	Линейная плотность заряда, $q = \lambda l$	$q$	$\lambda$	$l$
18	Закон Фарадея, $\Delta \Phi = \varepsilon \Delta t$	$\Delta \Phi$	$\varepsilon$	$\Delta t$
19	Освещенность, $\Phi = E S$	$\Phi$	$E$	$S$

Представленная система основных эмпирических законов физики является открытой, т. к. число таких законов многочисленны и могут быть дополнена другими подобными законами сколько угодно.

Вторую группу законов образуют такие, которые выводимы из основного закона, но в

своем действии сохраняют относительную самостоятельность по отношению друг к другу. Эти законы являются фундаментальными, которые не разделяются на другие части (см. Табл. 2).

Таблица 2. Система фундаментальных эмпирических физических законов.

№	Фундаментальные теоретические законы	Эмпирический базис фундаментальных теоретических законов			
1	$ab = 1$ , то $a \neq 0$ и $b = a^{-1}$	$\frac{ F_{1,2} }{ F_{2,1} } = 1$	$\frac{ F_{нрум} }{ F_{омм} } = 1$	$\frac{\Delta S}{S} = 1$	$\frac{ q_e }{ q_p } = 1$
2	$ac = bc$ и $a \neq 0$ , то $a = b$	Закон сохранения энергии. Первый закон термодинамики.			
3	$ab = 0$ , то $a = 0$ или $b = 0$	I-закон Ньютона.			
4	$a \neq 0$ и $b \neq 0$ , то $ab \neq 0$	Существование неинерциальных систем отсчета			
5	$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$	$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_1}{h_2}$	
6	$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$	Требует экспериментального установления.			
7	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$ ; $b \neq 0, d \neq 0$	Принцип эквивалентности инерциальных систем отсчета			
8	$\frac{a}{b} + \frac{(-a)}{b} = 0$ и $-\left(\frac{a}{b}\right) = \frac{-a}{b}$	Закон сохранения импульса			
9	если $a \neq 0$ и $b \neq 0$ , тогда $\left(\frac{a}{b}\right)^{-1} = \frac{b}{a}$	Закон сохранения момента импульса			
10	$\frac{ac}{bc} = \frac{a}{b}$ ; $b \neq 0, c \neq 0$	$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$	$\frac{V_1}{P_1} = \frac{V_2}{P_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Третью группу представляют объединенные физические законы, которые состоят из двух законов причинности (см. Табл. 3).

Четвертую группу законов составляют законы, которые выводятся из первой и второй

группы законов, следовательно и называются производными теоретическими законами (см. Табл.4).

Таблица 3. Система объединенных эмпирических законов физики

Объединенный эмпирический закон	Изоморфные части	
	1	2
Закон всемирного тяготения $F = G \frac{m M}{r^2}$	$\varphi_G = \frac{F m}{r}$	$\varphi_G = \frac{G m}{r}$
Уравнение Менделеева-Клапейрона $PV = \frac{m}{M} RT$	$\frac{PV}{T} = const$	$\frac{m R}{M} = const$
Закон Кулона $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$	$\varphi_E = \frac{F q_2}{r}$	$\varphi_E = k \frac{q_1}{r}$

Таблица 4. Система производных теоретических законов

Производные теоретические законы	Эмпирический базис производных теоретических законов теории единого поля		
Если $a > b$ и $b > c$ , то $a > c$ .	Абсолютность временной последовательности причинно-связанных процессов		
Имеет место одно и только одно из трех соотношений: $a > b, a = b, b > a$ .	Необратимые термодинамические процессы	Обратимые ядерные и химические процессы	Обратимые термодинамические процессы
Если $a > b$ , то $a + c > b + c$ .	Закон инвариантности последовательности событий		
Если $a > b$ и $0 > c$ , то $ac > bc$	Второй закон термодинамики		

Классификация законов теории единого поля позволяет свести все теоретические физические законы к единой системе (см. Табл.5). Представленная система теоретических законов

физики имеет такое же значение для физики, как периодическая система Д.И. Менделеева в химии. Если периодическая система химических элементов упорядоченное множество

химических элементов, из которых образован Мир, то система теоретических законов физики – это упорядоченное множество законов физики, которыми управляется Мир. Теоретические законы физики, образующие данную систему, являются теми законами, которые физики хотят нарисовать их на футболке [26], чтобы всем было интересно, какими законами управляется мир, в котором мы живем.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Основным результатом данного исследования является создание новой теории, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемые к теории единого поля, которую мечтал построить А. Эйнштейн. В рамках данной теории объединяются не только классическая механика с теорией относительности, как предполагал А. Эйнштейн, она объединяет все разделы фундаментальной физики, почти нет ни одного заметного раздела, которого не затронула теория единого поля. Созданию этой теории способствовала новая методология, опирающаяся на представления о том, что наш Мир является конечной математической структурой. Для установления этой математической структуры требовалось выявление так называемого «основного отношения» как основного закона физики. На основе выдвинутых рабочих гипотез и оформление математических выражений путем обобщения физических понятий и законов как причинно-следственные связи было получено выражение основного закона физики в виде закона композиции. Данное выражение как отношение эквивалентности позволило построить целостную картину мира в обозримо-наглядной форме в виде диаграммы Эйлера-Венна. На основе логических умозаключений из целостной картины мира «выведены» логические законы, по сути, которой являются теоретическими законами, которые послужили основанием для построения системы аксиом теории. На основе основного закона и системы аксиом теории было выяснено, что математической структурой физических законов является поле рациональных чисел. Вскрытие

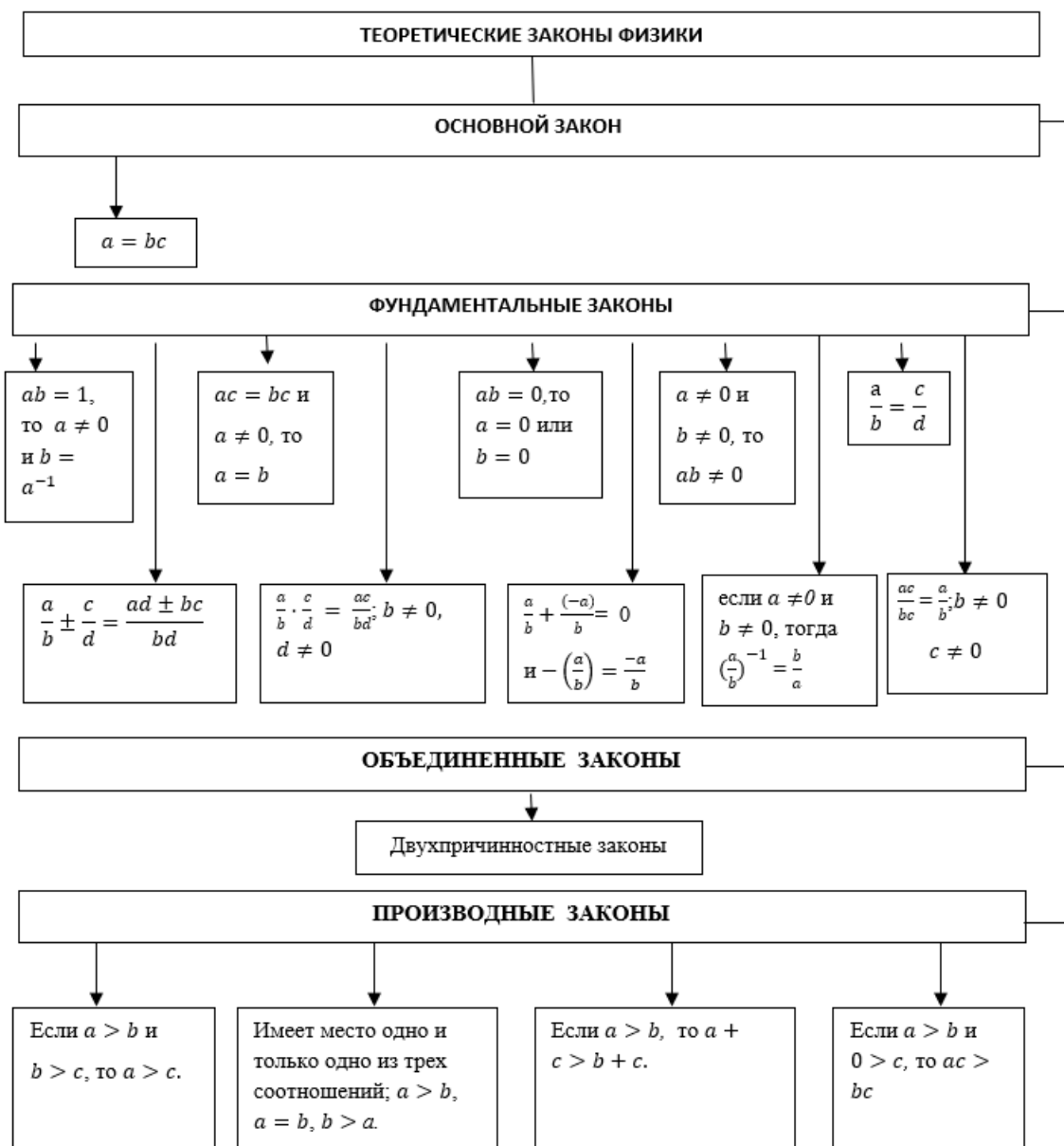
математической структуры физических законов признано научным открытием Экспертной комиссией Европейской академии естественных наук (ЕАЕН) как закономерность их построения.

Установление математической структуры физических законов позволило сконструировать ядро теории на основе теорем о свойствах простого поля и поля рациональных чисел. Следствия, выводимые из ядра теории, как пишет Р. Фейнман, «согласуется со всеми тем, что уже выяснено, и приводит где-то к другим результатам в сомнительных областях» [7]. Последнее относится к проблеме существования сверхсветовой скорости. Теория единого поля «вводит» новый закон о существовании неинерциальных систем отсчета, а также указывает на новый закон, частным проявлением которого является формула линзы. Этот закон ждет своего экспериментального установления.

Отличительной особенностью теории единого поля от всех предыдущих физических теорий является то, что в ней впервые все законы философии, а также причинно-следственные связи выражаются как математические формулы, о возможности которой сомневались некоторые ученые. Такая математизация философии возвышает данную науку в ранг точных наук, что немало важно и для повышения точности других научных направлений. Предлагаемая теория – это «пицца» для всех тех, кого не оставляет равнодушным проблема единства научных знаний.

Теория единого поля это - прежде всего физика, непохожая на физику, которая мы изучаем. Это физика с новым мышлением, современным математическим аппаратом. Это новая философия, новое мировоззрение. Теория единого поля является теоретической основой новой физики, изложенной в книге О.Н. Репченко «Полевая физика или как устроен Мир», в которой, несомненно, доказывается преимущества полевой трактовки физических явлений, начиная от механики до ядерных взаимодействий, что указывает на необходимость пересмотра всей фундаментальной физики на основе теории единого поля.

Таблица 5. Система теоретических законов физики



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Однажды в беседе с Эйнштейном Гинзбург сказал: «Если природа приводит нас к математическим выражениям необыкновенно простым и красивым математическим выражениям необыкновенно простым и красивым, ...которые ранее не встречались, то мы невольно воспринимаем их как истинные и считаем, что они открывают то, или иное свойство природы» [45]. Простота и красота – критерий истинности теории. Представленная теория единого поля является самой простой и красивой теорией.

В эпицентре теории находится человек, т.е. организация его мышления на основе причинно-следственных связей, которое изначально заложено в структуре его мозга. В рамках теории единого поля происходит ньютонизация всей физики, что делает физику более понятной,

доступной всем, как классическая механика. Ограниченное число теоретических законов позволяют анализировать все физические явления на основе анализа причин – следственных связей,

Прорыв теории единого поля – как основа новой физики, связан с осознанием того, что для выявления основ Мироздания нужно попытаться взглянуть «сверху» Системы, с вершины логики до того, кто это заложил, сохраняя при этом веру в существование разумного начала в нашем Мире, а не стихийности его появления. Новая физика не постулирует существование Творца и не опирается на это обстоятельство [8]

Создание теории единого поля потребовала немало немного сто лет времени. Сколько потребуется времени для признания и доведения до сознания людей предсказать невозможно. Однако необходимость такой физики, такой



философии, такого мировоззрения вселяет надежду, что она будет признана и принята как научная истина. Этого требует не только современное состояние науки и образования, а общества в целом. Это веление времени. Теория единого поля – это новое мировоззрение, которым должен вооружаться каждый из нас. Это касается в первую очередь молодому поколению, у которого мы не можем формировать научное мировоззрение ни в школе, ни в университете. Теория единого поля – это путь, по которому каждый из нас должен пройти, путь, который не должен оставлять равнодушным ни одного из нас. Данная теория указывает и доказывает, что мир, в котором мы живем, един и целостен. Мы, люди, которые живем в этом целостном мире должны жить в согласии и взаимоуважении, трудиться во имя благо всего человечества. Только такое миропонимание является залогом и гарантией сохранения мира во всем мире, процветания человеческой цивилизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жмудь В.А. Введение к единой теории поля. Автоматика и программная инженерия. 2021, №1(35), с. 28-62. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-1-2021-3.pdf>
- [2] Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: РИМИС, 2009. -176 с. <https://www.labirint.ru/books/485455/>
- [3] Шарыпов О.В., Гришин С.Г. О проблеме синтеза в развитии основ современной физики. Философия науки. 2001. № 1. С. 47-67.
- [4] Марков М.А. О единстве и многообразии форм материи в физической картине мира. Философия и современное естествознание. М., Знание. 1984. 174 с.
- [5] Кюри П. О симметрии в физических явлениях: симметрия электрического и магнитного полей. Избранные труды. М-Л., Наука, 1966, с. 95-113.
- [6] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Электричество и магнетизм. Т.1, М., ЛитРЕС, 2020, 305 с.
- [7] Фейнман Р. Характер физических законов, М., Мир, 1982.
- [8] Репченко О.Н. Полевая физика и как устроен Мир. М., Галаря, 2005, 320с.
- [9] Почему математика хорошо описывает реальность? URL: <https://habr.com/ru/post/390201>
- [10] Восхождение от абстрактного к конкретному. Философская энциклопедия. [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_philosophy/4213/ВОСХОЖДЕНИЕ](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/4213/ВОСХОЖДЕНИЕ)
- [11] Вики-ресурс. Алгебраическое цифровое поле. [http://wiki-org.ru/wiki/Алгебраическое\\_числовое\\_поле](http://wiki-org.ru/wiki/Алгебраическое_числовое_поле)
- [12] Философия Пифагора и Демокрита [https://psyera.ru/filosofiya-pifagora-i-demokrita\\_12801.htm](https://psyera.ru/filosofiya-pifagora-i-demokrita_12801.htm)
- [13] Пифагор и его школа. <http://nitshe.ru/filosofiya-kratko-10.html>
- [14] Манин Ю.И. Математика как метафора. М., МЦНМО, 2008, 402 с.
- [15] Интересные факты о Пифагоре <http://xn--80aahh2ah1cn0e.xn--p1ai/%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%D1%8B-%D0%BE-%D0%BF%D0%B8%D1%84%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B5/>
- [16] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория\\_групп](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_групп).
- [17] Вигнер Ю. Непостижимая эффективность математики в естественных науках. <https://coollib.com/b/322251/read>
- [18] Каку М. Космос Эйнштейна. Как открытия Альберта Эйнштейна изменили наши представления о пространстве и времени. М, Альпина нон фикшн, 2016, 272 с.
- [19] Философский штурм. Какова природа законов природы? <http://www.philosophystorm.org/kakova-priroda-zakonov-prirody>
- [20] Ehrenberg A. Even the social Sciences have laws, Nature, 1993, 365/6445(30), 385.
- [21] Belostotski Yu.G.. New view on universe bases. European Science and Technology. Materials of the international research and practice conference/ vol. II, p.p. 22-30.
- [22] Цветков В.Я. Триада как интерпретирующая система. //Международный электронный журнал. 2015, 6(18), с.18-23
- [23] Психологический словарь. Структурирование. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/psihologic/1770>.
- [24] Д.В. Михалевский Д.В. Пространство и бытие. Сборник статей. Алатея, 2017. <https://www.litres.ru/dmitriy-mihalevskiy/prostranstvo-i-bytie-sbornik-statey/chitat-onlayn/>
- [25] Фройнденталь Г. Математика как педагогическая задача. Часть 1. М., Просвещение ,1983, 208 с.
- [26] M. Tegmark. The Mathematical Universe. arXiv.0704.0646V2[gr-qc] 8 Okt.2007.
- [27] A. G. Lisi. An exceptionally Simple Theory of Everything. arXiv.0711.0770v1[hep-th] 6 Nov.2007.
- [28] Михайлова Н.В. Философско- методологический анализ проблем обоснования современной математики, Монография, Минск, МГВРК, 2013, 468 с.
- [29] Рустемов Б.Х. Физическая теория причинно-следственных связей. Монография. М.: «Спутник +», 2011, 64 с.
- [30] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ментальные\\_модели](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ментальные_модели)
- [31] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C&from=ru&to=xx&did=&stype=>
- [32] Эйнштейн А. Сборник научных трудов. Т.3. М., Наука,1966, с. 604.
- [33] История и философия науки. Рыбинск, РГАТУ, 2016, 117 с.
- [34] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%B5%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5+%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5&from=ru&to=xx&did=&stype=0>
- [35] Печенкин А. А. Математическое обоснование физики. М., Наука,1984, 251 с.
- [36] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C&from=ru&to=xx&did=&stype=>

- [D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9&from=ru&to=xx&did=&stype=0](http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-1-2021-3.pdf)
- [37] Куликов Л.Я., Алгебра и теория чисел, М., Высшая школа, 1979, 559 с.
- [38] Р. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, Том 1, Современная наука о природе, законы механики, <http://www.t-z-n.ru/archives/tom1.pdf>.
- [39] Терлецкий Я.П. Парадоксы теории относительности М, Наука, 120 с.
- [40] Почему математика хорошо описывает реальность? <https://habr.com/ru/post/390201/>
- [41] Liob E., Yngvason J. The mathematical the second law of thermodynamics, arXiv.math – ph/0204007v2Feb2003.
- [42] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Academic.ru>
- [43] <https://www.google.com/search?hl=ru=TMcourse=hp&source=rp&biw=&an=&q=классификация...>
- [44] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D1%83%D1%88%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2&rom=ru&to=xx&did=&stype=0>
- [45] Дэвис П. Суперсила, поиски единой теории, Москва (1968).



**Бабакули Худайкулиевич Рустемов** – старший преподаватель кафедры физики с методикой преподавания Туркменского государственного педагогического института имени Сейитназара Сейди, кандидат технических наук, академик Европейской Академии естественных наук (ЕАЕН)  
<http://eanw.info/enzilkopedia/rustemov-babakuli.html>

Статья поступила 18.07.2022

## Unified field theory

B.H. Rustemov

Turkmen Pedagogical Institute named after Seyitnazar Seydi, Turkmenabat, Turkmenistan

*Abstract.* The paper reports on the creation of a new axiomatic theory, which claims to be called the "unified field theory". The method of constructing the unified field theory, developed by the author, is presented. Based on the hypotheses put forward by generalizing the mathematical expressions of physical concepts and laws, the so-called "basic relation" was revealed as the basic law of physics, which made it possible to draw a complete picture of the world in the form of Euler-Venn diagram. The logical consequences derived from a holistic picture of the world made it possible to construct a system of axioms of the theory. The basic law of physics and the system of axioms of the theory was the basis for the assertion that the field of rational numbers is the mathematical structure of physical laws. The theorems that characterize a given mathematical structure form the core of the theory. The automorphism groups of this mathematical structure made it possible to classify and systematize physical laws. Within the framework of this theory, Newton's first law, the principle of relativity, the second law of thermodynamics are for the first time expressed in the form of theoretical laws, and the existence of a law on non-inertial frames of reference and a law, a particular manifestation of which is the lens formula, are also predicted. In the presented theory, all the laws of philosophy "find" their mathematical expressions. Making the laws of physics as laws of causality makes them universal, universal, and the theory - unified. The theoretical laws of physics of the unified field theory combine the fundamental theory with the theory of relativity. At the epicenter of the theory is a person, more specifically, the organization of his thinking on the basis of cause-and-effect relationships. Human thinking is built in such a way that it is able to analyze exactly the cause-and-effect sequence of any processes, i. e. this way of cognition was originally incorporated in the structure of the human brain. We cannot refuse the human factor in understanding the laws of nature. The unified field theory unites not only classical mechanics with the theory of relativity, it unites all fundamental physics through its "Newtonization".

*Key words:* unified field theory, physical laws, field, mathematical structure, cause-and-effect relationship, equivalence relation, law of composition, integral picture of the world, axioms of the theory, core of the theory.

### REFERENCES

- [1] Zhmud' V.A. Vvedeniye k yedinoj teorii polya. Avtomatika i programmaya inzheneriya. 2021, №1(35), s. 28-62. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-1-2021-3.pdf>
- [2] Shredinger E. Chto takoye zhizn' s tochki zreniya fiziki? M.: RIMIS, 2009. -176 s. <https://www.labirint.ru/books/485455/>
- [3] Sharypov O.V., Grishin S.G. O probleme sinteza v razvitiy osnov soaremennoy fiziki. Filosofiya nauki. 2001. № 1. S. 47-67.
- [4] Markov M.A. O yedinstve i mnogoobrazii form materii v fizicheskoy kartine mira. Filosofiya i sovremennoye yestestvoznaniye. M., Znaniye. 1984. 174 s.
- [5] Kyuri P. O simmetrii v fizicheskikh yavleniyakh: simmetriya elektricheskogo i magnitnogo poley. Izbrannyye trudy. M-L., Nauka, 1966, s. 95-113.
- [6] Feynman R., Leyton R., S-ends M. Feynmanovskiye lektsii po fizike. Elektrichestvo i magnetizm. T.1, M., LitRES, 2020, 305 s.
- [7] Feynman R. Kharakter fizicheskikh zakonov, M., Mir, 1982.
- [8] Repchenko O.N. Polevaya fizika i kak ustroyen Mir. M., Galareya, 2005, 320s.
- [9] Pochemu matematika khorosho opisyyayet real'nost'? URL: <https://habr.com/ru/post/390201>
- [10] Voskhozhdeniye ot abstraktnogo k konkretnomu. Filosofskaya entsiklopediya. [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_philosophy/4213/VOSKHOZHDENIYE](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/4213/VOSKHOZHDENIYE)

- [11] Wiki-resurs. Algebraicheskoye tsifrovoye pole. [http://wiki-org.ru/wiki/Algebraicheskoye\\_chislovoye\\_pole](http://wiki-org.ru/wiki/Algebraicheskoye_chislovoye_pole)
- [12] Filosofiya Pifagora i Demokrita [https://psvera.ru/filosofiya-pifagora-i-demokrita\\_12801.htm](https://psvera.ru/filosofiya-pifagora-i-demokrita_12801.htm)
- [13] Pifagor i yego shkola. <http://nitshe.ru/filosofiya-kratko-10.html>
- [14] Manin YU.I. Matematika kak metafora. M., MTSNMO, 2008, 402 s.
- [15] Interesnyye fakty o Pifagore <http://xn--80aahh2ah1cn0e.xn--p1ai/%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%D1%8B-%D0%BE-%D0%BF%D0%B8%D1%84%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B5/>
- [16] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Teoriya\\_grupp](https://ru.wikipedia.org/wiki/Teoriya_grupp).
- [17] Vigner YU. Nepostizhimaya effektivnost' matematiki v yestestvennykh naukakh. <https://coollib.com/b/322251/read>
- [18] Kaku M. Kosmos Eynshyteyna. Kak otkrytiya Al'berta Eynshyteyna izmenili nashi predstavleniya o prostranstve i vremeni. M, Al'pina non fikshn, 2016, 272 s.
- [19] Filosofskiy shturm. Kakova priroda zakonov prirody? <http://www.philosophystorm.org/kakova-priroda-zakonov-prirody>
- [20] Ehrenberg A. Even the social Sciences have laws, Nature, 1993, 365/6445(30), 385.
- [21] Belostotski Yu.G.. New view on universe bases. European Science and Technology. Materials of the international research and practice conference/ vol. II, p.p. 22-30.
- [22] Tsvetkov V.YA. Triada kak interpretiruyushchaya sistema. //Mezhdunarodnyy elektronnyy zhurnal. 2015, 6(18), s.18-23
- [23] Psikhologicheskii slovar'. Strukturirovaniye. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/psihologic/1770>.
- [24] D.V. Mikhalevskiy D.V. Prostranstvo i bytiye. Sbornik stat'yey. Alateya, 2017. <https://www.litres.ru/dmitriy-mihalevskiy/prostranstvo-i-bytie-sbornik-statey/chitat-onlayn/>
- [25] Froyndental' G. Matematika kak pedagogicheskaya zadacha. Chast' 1. M., Prosveshcheniye, 1983, 208 s.
- [26] M. Tegmark. The Mathematical Universe. arXiv.0704.0646V2[gr-qc] 8 Okt.2007.
- [27] A. G. Lisi. An exceptionally Simple Theory of Everything. arXiv.0711.0770v1[hep-th] 6 Nov.2007.
- [28] Mikhaylova N.V. Filosofsko- metodologicheskii analiz problem obosnovaniya sovremennoy matematiki, Monografiya, Minsk, MGVRK, 2013, 468 c.
- [29] Rustemov B.KH. Fizicheskaya teoriya prichinnosledstvennykh svyazey. Monografiya. M.: «Sputnik +», 2011, 64 s.
- [30] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Mental'nyye\\_modeli](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mental'nyye_modeli)
- [31] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C&from=ru&to=xx&did=&stype=>
- [32] Eynshyteyn A. Sbornik nauchnykh trudov. T.3. M., Nauka,1966, s. 604.
- [33] Istoriya i filosofiya nauki. Rybinsk, RGATU, 2016, 117 s.
- [34] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%B5%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5+%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5&from=ru&to=xx&did=&stype=0>
- [35] Pechenkin A. A. Matematicheskoye obosnovaniye fiziki. M., Nauka,1984, 251 s.
- [36] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9&from=ru&to=xx&did=&stype=0>
- [37] Kulikov L.YA., Algebra i teoriya chisel, M., Vysshaya shkola, 1979, 559 s.
- [38] R. Feynman R., Leyton R., S·ends M. Feynmanovskiye lektsii po fizike, Tom 1, Sovremennaya nauka o prirode, zakony mekhaniki, <http://www.t-z-n.ru/archives/tom1.pdf>.
- [39] Terletskiy YA.P. Paradoksy teorii otnositel'nosti M, Nauka, 120 s.
- [40] Pochemu matematika khorosho opisyvayet real'nost'? <https://habr.com/ru/post/390201/>
- [41] Liob E., Yngvason J. The mathematical the second law of thermodynamics, arXiv.math – ph/0204007v2Feb2003.
- [42] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Academic\\_ru](https://ru.wikipedia.org/wiki/Academic_ru)
- [43] <https://www.google.com/search?hl=ru=TMcourse=hp&source=rp&biw=&an=&q=klassifikatsiya...>
- [44] <https://academic.ru/searchall.php?SWord=%D1%83%D1%88%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2&rom=ru&to=xx&did=&stype=0>
- [45] D·evis P. Supersila, poiski yedinoy teorii, Moskva (1968).



**Babakuli Rustemov** - Senior lecturer of the Department of Physics with teaching methods of the Turkmen State Pedagogical Institute named after SeyitnazarSeidi, Candidate of Technical Sciences, Academician of the European Academy of Natural Sciences (EANS) <http://eanw.info/enzilkopedia/rustemov-babakuli.html>

The paper has been received on 18/07/2022

# Дифференцирование и интегрирование функций в КОМПЛЕКСНОЙ СТЕПЕНИ

*В.А. Жмудь*

АО «Новосибирский институт программных систем», Россия  
Институт лазерной физики СО РАН, Россия  
Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН

*Аннотация.* Некоторые математические задачи достигают такой сложности, что их решение и инженерная интерпретация уже невозможны, или, по меньшей мере, чрезвычайно затруднены для исследователей без применения средств искусственного интеллекта. Математические соотношения для таких задач весьма трудно интерпретировать. В связи с развитием средств для математических вычислений подобные проблемы частично утратили свою актуальность. Однако, в математике могут быть поставлены новые задачи, для которых существующие средства математических вычислений, возможно, ещё недостаточны. Предположительно, к таким задачам относится задача дифференцирования и интегрирования в комплексной степени. Дифференцирование различных функций широко применяется во многих отраслях математики, техники, науки. Исторически дифференцирование было известно для случаев, когда показатель степени дифференцирования был целым положительным числом, что означало кратность взятия операции дифференцирования. Позднее эта операция была расширена понятием того, что показатель степени может быть и отрицательным, что означает кратное интегрирование. Дифференцирование в отрицательной степени определено как интегрирование, а интегрирование в отрицательной степени как дифференцирование. Впоследствии был поставлен и положительно решен вопрос о возможности нецелого дифференцирования, и, соответственно, интегрирования. Это расширение математического аппарата оказалось весьма полезным, поскольку оно позволяет разрабатывать и реализовывать более эффективные регуляторы, например, для систем с отрицательной обратной связью. Публикации о взятии производной в чисто мнимой степени уже появлялись, но, по-видимому, в литературе обсуждался также и вопрос о дифференцировании, при котором степень взятия производной выражалась бы комплексным числом. Статья предлагает подход к решению этой задачи, который, возможно, ещё не обсуждался. Если этого комплексное число, обозначающее степень дифференцирования, имеет положительную действительную часть, операцию лучше называть именно особой формой дифференцирования, если же действительная часть показателя степени дифференцирования отрицательная, то операция больше соответствует понятию интегрирования. Формально инвертирование показателя степени дифференцирования превращает операцию в интегрирование и обратно. На протяжении всей истории неоднократно подтверждалось, что математика время от времени решает задачи, которые на момент их открытия не имеют очевидной прикладной ценности; однако разработка теории ценна сама по себе, даже если в настоящее время нет очевидной прикладной ценности такой разработки. Кроме того, опыт показывает, что каждый новый математический инструмент в конечном итоге будет применяться для решения важной практической задачи.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, автоматика, нецелое дифференцирование, нецелое интегрирование, преобразование Лапласа, комплексные числа

## ВВЕДЕНИЕ

Дифференцирование сигналов широко применяется в системах автоматического управления. Дифференцирование является одним из наиболее распространенных видов обработки сигналов наряду с интегрированием и фильтрацией. Фильтрацию также можно представить как одну из форм линейного преобразования, основанного на дифференцировании или интегрировании, а также на алгебраическом суммировании сигналов или их различных фрагментов. Операции линейного преобразования сигналов имеют то выгодное отличие от операций нелинейных преобразований, что при их выполнении, как правило, отношение сигнал/шум, как минимум, почти не ухудшается, тогда как при выполнении операций нелинейного преобразования этот показатель может ухудшаться резко и безвозвратно. Если операция фильтрации при этом подавляет те

области частот, где сигнал слаб или его появление вообще не должно происходить, оставляя без подавления или даже усиливая те области частот, которые представляют наибольший интерес, поскольку в них ожидается появление сигнала, то в результате отношение сигнал/шум во всей полосе полученного сигнала даже повышается, если оценивать его по признакам энергии сигнала во всей оставшейся полосе частот. Некоторые студенты порой даже характеризуют это действие как повышение отношения сигнал/шум, хотя на самом деле правильнее утверждать, что такая фильтрация просто подавляет шумы в тех частотных диапазонах, где полезной части сигнала нет, или где она не требуется для дальнейшей обработки всего сигнала в совокупности. Дифференцирование, интегрирование и фильтрация также широко применяются при обработке сигналов для идентификации объектов управления, то есть с целью определения математических моделей управляемых объектов. Также для целей



управления потребовалось модифицировать понятие дифференцирования, расширив его до таких понятий, как нецелое дифференцирование и интегрирование. Это расширение оказалось весьма полезным. Данная статья рассматривает дальнейшие возможности расширения понятия дифференцирования.

Некоторые математические задачи достигают такой сложности, что их решение и инженерная интерпретация уже невозможны, или, по меньшей мере, чрезвычайно затруднены для исследователей без применения средств искусственного интеллекта. Математические соотношения для таких задач весьма трудно интерпретировать. В связи с развитием средств для математических вычислений подобные проблемы частично утратили свою актуальность. Однако, в математике могут быть поставлены новые задачи, для которых существующие средства математических вычислений, возможно, ещё недостаточны. Предположительно, к таким задачам относится задача дифференцирования и интегрирования в комплексной степени.

Дифференциальное исчисление стало одним из важнейших математических аппаратов во многих областях науки и техники. Изначально для операции дифференцирование было дано определение для простого дифференцирования, то есть дифференцирования в первой степени. Далее по индукции было дано понятие для любого целого порядка дифференцирования как суперпозиции соответствующего числа операций простого дифференцирования. Обратная операция, называемая интегрированием, может быть рассмотрена как дифференцирование в отрицательной степени. Таким образом, показатель степени дифференцирования был определен целым положительным числом, что означало кратность взятия операции дифференцирования. По мере развития математики, позднее эта операция расширилась принятием того предположения, что показатель степени может быть и отрицательным. Это означает кратное интегрирование. Дифференцирование в отрицательной степени определено как интегрирование, а интегрирование в отрицательной степени может быть определено как дифференцирование. Впоследствии математики поставили и положительно решили вопрос о возможности нецелого дифференцирования, и, соответственно, интегрирования [1–7]. Оказалось, что это расширение математического аппарата имеет достаточно важное прикладное значение. Например, это позволяет делать более точные модели из вязкоупругих материалов для больших растяжек [8]. Также такое нецелое дифференцирование позволяет проектировать и реализовывать более эффективные регуляторы для систем с отрицательной обратной связью [9–

12]. Регуляторы с использованием нецелого дифференцирования и интегрирования получили специальное название –  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -регуляторы [13–16]. Здесь  $P$ ,  $I$ ,  $D$  означают, соответственно, пропорциональный, интегрирующий и дифференцирующий тракты, а показатели степени  $\lambda$  и  $\mu$  являются нецелыми числами, значение которых превышает ноль, но меньше единицы [17–20]. Публикации на эту тему не прекращаются, их количество с каждым годом нарастает [21–25].

Публикации о взятии производной в чисто мнимой степени уже появились [25–27], нельзя исключать, что вопрос о дифференцировании, при котором степень взятия производной выражалась бы комплексным числом, в литературе также уже обсуждался, на это имеются указания [28–31]. Разумеется, если математики решили вопрос о дифференцировании в мнимой степени, то по достаточно понятным правилам можно утверждать, что дифференцирование в комплексной степени может быть выведено как следствие из понятий дифференцирования в мнимой степени и дифференцирования в действительной степени (причем, оба эти индекса дифференцирования могут быть нецелыми). В данной статье мы предлагаем другой способ решения этой задачи, при этом мы не беремся обсуждать, какой из методов более простой, мы даже не можем проверить, совпадут ли результаты применения двух разных методов. Исторически многократно подтверждалось, что математика очень часто решает такие задачи, которые на момент отыскания этих решений не имеют очевидной прикладной ценности, однако, развитие теории само по себе ценно даже при отсутствии на данный момент прикладного значения для такого развития. Кроме того, практика доказала, что всякий новый математический аппарат со временем находит свое приложение для какой-то важной практической задачи. Данная статья впервые ставит вопрос о том, как следует трактовать дифференцирование в мнимой степени. Из решения этого вопроса следует трактовка взятия операции дифференцирования в комплексной степени, а если действительная часть этого комплексного числа, используемого для указания степени, отрицательна, то указанная операция может трактоваться как интегрирование в комплексной степени, при этом при переходе от дифференцирования к интегрированию для указания степени интегрирования следует использовать комплексно-сопряженное число по отношению к исходному показателю степени дифференцирования.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Будем рассуждать о функциях времени, поскольку операции с функциями времени наиболее важны в теории сигналов.

Пусть имеется функция времени

$$f(t). \quad (1)$$

Для этой функции может быть введено понятие производной

$$Y(t) = f'(t) = df(t)/dt. \quad (2)$$

Эта производная трактуется как скорость изменения функции, она определена через предел:

$$Y(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta f(t)}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Оператор дифференцирования можно обозначить в виде соответствующего символа

$$p = d/dt. \quad (4)$$

Некоторые авторы утверждают, что с этим символом нельзя поступать, как с обычным алгебраическим множителем, но использовать его в таком виде допускается, то есть соотношение (2) можно переписать в следующем виде:

$$Y(t) = pf(t). \quad (5)$$

Применяя данный символ, можно условно записать также и интегрирование, которое определено следующим образом:

$$\theta(t) = \int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Упрощенная запись операции интегрирования в этом случае будет иметь следующий вид:

$$\theta(t) = p^{-1}f(t). \quad (7)$$

В этот ряд также можно включить и ноль, т.е. отсутствие дифференцирования. А именно:

$$f(t) = p^0 f(t). \quad (8)$$

Двойное дифференцирование – это взятие производной дважды

$$Y'(t) = f''(t) = d \left( \frac{df(t)}{dt} \right) / dt. \quad (9)$$

Для такой операции существует специальное обозначение

$$Y'(t) = d^2 f(t) / dt^2. \quad (10)$$

Это отношение можно переписать в следующем виде:

$$Y'(t) = p^2 f(t). \quad (11)$$

Здесь используется действие с символическим оператором дифференцирования (4), что можно записать также и в следующем виде:

$$Y'(t) = \left( \frac{d}{dt} \right)^2 f(t). \quad (12)$$

Аналогичным образом можно определить и двойное интегрирование

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t \theta(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^t \left[ \int_{-\infty}^{\tau} f(\tau) d\tau \right] d\sigma. \quad (13)$$

Указанное громоздкое соотношение (13) в символическом виде можно записать достаточно просто:

$$\Psi(t) = p^{-2} f(t). \quad (14)$$

На этом основании можно определить взятие производной любое целое количество раз:

$$p^n f(t) = \frac{d^n f(t)}{dt^n}. \quad (15)$$

С учетом определения для отрицательной и нулевой степени дифференцирования в соотношении (15) показатель степени  $n$  может принимать любое конечное целое значение, включая отрицательные значения и ноль.

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm \infty. \quad (16)$$

Иными словами, показатель степени принадлежит к множеству целых чисел:

$$n \in Z. \quad (17)$$

Здесь  $Z$  – множество целых чисел.

Обратим внимание на существенное отличие понятия  $n$ -кратного дифференцирования от возведения результата дифференцирования в степень  $n$ .

$$p^n f(t) \neq [pf(t)]^n. \quad (18)$$

Таким образом, постановка задачи разбивается на две подзадачи.

**Задача.** Следует дать определение математической операции взятия производной степени  $c = a + bi$ , где  $i$  – мнимая единица,  $c$  – комплексное число,  $a, b$  – действительные коэффициенты.

### МЕТОД РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Метод решения поставленной задачи состоит в использовании преобразования Лапласа, которое позволило дать математически точное определение понятию нецелое дифференцирование и нецелое интегрирование.

Глубокое обоснование замены символа производной на буквенное обозначение с последующими действиями с этим обозначением по правилам алгебры имеется в математическом аппарате преобразования Лапласа. Действительно, в случае применения преобразования Лапласа к некоторой функции, получаем отображение по Лапласу от этой функции:

$$L\{f(t)\} \leftrightarrow F(s). \quad (19)$$

Здесь  $L\{\cdot\}$  – преобразование Лапласа,  $s$  – аргумент функции Лапласа,  $F(s)$  –

преобразование (образ) от функции  $f(t)$  по Лапласу [32–35].

Преобразование Лапласа определено следующим образом:

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt. \quad (20)$$

Для этого преобразования известно, что если вместо исходной функции  $f(t)$  использовать её производную  $Y(t)$ , то результат преобразования будет равен результату преобразования от исходной функции, умноженный на аргумент  $s$ :

$$L\{Y(t)\} = s \cdot L\{f(t)\}. \quad (21)$$

Аналогичное правило имеется для интеграла: если вместо исходной функции  $f(t)$  использовать её интеграл  $\Psi(t)$ , то результат преобразования будет равен результату преобразования от исходной функции, деленный на аргумент  $s$ :

$$L\{\Psi(t)\} = \frac{1}{s} \cdot L\{f(t)\}. \quad (22)$$

Эти соотношения не только аналогичны соответствующим соотношениям с символьной записью операции дифференцирования, они также дают способ для понимания того, как может быть вычислен результат дробного дифференцирования или дробного интегрирования. А это, в свою очередь, легализует данную операцию, поскольку она может быть однозначно определена математически точно.

Действительно, например, половинное дифференцирование – это такое действие с функцией  $f(t)$ , которое даст новую функцию, результат преобразования по Лапласу от которой даст произведение преобразования от исходной функции на аргумент Лапласа в степени одна вторая:

$$L\left\{\frac{d^{1/2}}{dt^{1/2}} f(t)\right\} = s^{1/2} \cdot L\{f(t)\}. \quad (23)$$

Тем самым можно определить, что означает взятие операции дифференцирования или интегрирования в любой рациональной степени, т.е. показатель степени, который, согласно соотношению (17), мы отнесли к множеству целых чисел, мы теперь можем отнести к множеству действительных чисел  $R$ , а именно:

$$L\left\{\frac{d^m}{dt^m} f(t)\right\} = s^m \cdot L\{f(t)\}. \quad (24)$$

$$n \in R. \quad (25)$$

Нецелое дифференцирование и интегрирование широко известно, оно используется, например, при проектировании регулятора.

В связи с поставленной задачей целесообразно использовать аппарат преобразования Лапласа для определения понятия мнимого дифференцирования, т.е. дифференцирования в мнимой степени, согласно Задаче 1.

## РЕЗУЛЬТАТ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

В данной статье поставлена цель решить фундаментальный математический вопрос: «допустимо ли применять в качестве показателей степени числа из множества комплексных чисел?» Промежуточный вопрос состоит в том, чтобы дать определение, как следует трактовать дифференцирование в мнимой степени.

На основании рассмотренной в предыдущем разделе методики мы можем записать

$$L\left\{\frac{d^i}{dt^i} f(t)\right\} = s^i \cdot L\{f(t)\}. \quad (26)$$

Следовательно, мы знаем, чему должно быть равно преобразование Лапласа от мнимого дифференцирования функции  $f(t)$ . Следовательно, мы можем определить мнимое дифференцирование как такое преобразование функции, которое после преобразования ее по Лапласу дает преобразование по Лапласу от исходной функции, умноженное на аргумент функции Лапласа в указанной мнимой степени. Это дает математическое соотношение для определения операции мнимого дифференцирования:

$$\frac{d^i}{dt^i} f(t) = L^{-1}\{s^i \cdot L\{f(t)\}\}. \quad (27)$$

Здесь  $L^{-1}\{\cdot\}$  – обратное преобразование Лапласа, которое определено следующим образом:

$$L^{-1}\{F(s)\} = \frac{1}{2\pi i} \lim_{\omega \rightarrow \infty} \int_{\sigma+i\omega}^{\sigma-i\omega} e^{-st} F(s) ds. \quad (28)$$

Поскольку операция преобразования Лапласа  $L\{\cdot\}$  в (27) определена соотношением (20), также как операция обратного преобразования Лапласа  $L^{-1}\{\cdot\}$  определена соотношением (28), тем самым операция (27) полностью определена, результат этой операции единственный.

Задача 2 может быть решена двумя путями. Во-первых, через определение вида (27) с заменой аргумента  $i$  на аргумент  $c = a + bi$ , во-вторых, можно перейти к требуемому соотношению через соотношения для вычисления комплексной степени комплексного числа через действительную и мнимую степени этого числа. Второй путь представляется более сложным, поэтому здесь не рассматривается.

Таким образом, производная комплексной степени от дифференцируемой функции может быть определена следующим образом:

$$\frac{d^c}{dt^c} f(t) =$$

$$= \frac{1}{2\pi i} \lim_{\omega \rightarrow \infty} \int_{\sigma+i\omega}^{\sigma-i\omega} [e^{-st} s^c \times \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt] ds. \quad (27)$$

ОБСУЖДЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА

Постановка вопроса может на первый взгляд показаться не имеющей значения для теории, а полученный результат в виде соотношения (27) не демонстрирует явного практического значения на сегодняшний день. Однако поставленный нами теоретический вопрос имеет право на постановку, а предлагаемое решение этого вопроса с математической точки зрения несомненно, поскольку использованы несомненные исходные соотношения.

Публикации о производной в мнимой или даже, возможно, в комплексной степени уже появились. Глубокоуважаемые коллеги указывали нам на то, что подобные вопросы уже давно рассматривались и решены, в частности, со ссылкой на публикации [25–31]. Не все эти публикации имеются в открытом доступе, но, например, целый выпуск журнала Математика издательства МДПИ, посвященный нецелому дифференцированию, на который ссылались эти коллеги [26], изучен нами достаточно внимательно, ничего подобного дифференцированию в мнимой или тем более в комплексной степени в этом журнале нами не найдено. Можно лишь отметить, что даже нецелое дифференцирование, которому посвящен весь выпуск журнала, является очень сложной математической задачей, для решения которой предлагаются многие методы, как теоретические, так и численные, включая разнообразные методы аппроксимации. По-видимому, задача дифференцирования в комплексной степени не является столь простой, как на это указывают некоторые специалисты, и публикаций с решением этой задачи мы в открытом доступе не нашли. Может быть, не там искали, мы исходим из того, что такие публикации все-таки имеются, и возможно, они, в том числе, имеются в указанном нами перечне [25, 27–31].

Разумеется, если математики решили вопрос о дифференцировании в мнимой степени, то по достаточно понятным правилам можно утверждать, что дифференцирование в комплексной степени может быть выведено как следствие из понятий дифференцирования в мнимой степени и дифференцирования в действительной степени (причем, оба эти индекса дифференцирования могут быть нецелыми). В данной статье мы предлагаем другой способ решения этой задачи, при этом мы не беремся обсуждать, какой из методов более простой, мы даже не можем проверить, совпадут ли результаты применения двух разных методов. В некоторых случаях в математике используют определенные договоренности, как, например, было принято, что факториал от нуля равен единице, поскольку в этом случае многие формулы приобретают наиболее простой вид. Но

могли бы договориться и до другого решения, сообщество математиков могло бы договориться о том, что факториал нуля равен нулю, поскольку по определению факториалом целого числа  $M$  называют произведение всех целых чисел от единицы до этого числа  $M$ , то есть число  $M$  должно входить в произведение, а если в произведение целых чисел входит ноль, то результат равен нулю. Мы ни в коем случае не отрицаем, что факториал нуля равен единице, и не предлагаем отменить эту договоренность, мы лишь указываем на то, что даже в такой точной науке, как математика, может иметь место не только лишь точное доказательство одного следствия из другого, но и на некоторых этапах договоренность. Мы не нашли возможности сопоставить результаты двух методов вычисления производной в комплексной степени – известный и предлагаемый нами. Мы лишь предполагаем, что предлагаемый нами метод до настоящего времени не опубликован и не обсуждался. Вместе с тем мы убеждены, что предлагаемый нами метод должен быть правильным, поскольку он основан на правильных соотношениях, примененных должным образом. Было бы интересно узнать, что результаты не совпадут, и не менее интересно было бы убедиться, что результаты совпадут.

В соотношении (27) можно задавать различные конкретные виды функции  $f(t)$ , что позволит получать различные конкретные примеры мнимого и комплексного дифференцирования этих функций. Наиболее просто, по-видимому, будут вычислены такие операции по отношению к гармоническим, степенным и экспоненциальным функциям.

ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ С ПОЗИЦИИ  
ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ

В теории автоматического управления также применяется нецелое дифференцирование и интегрирование, что отмечено выше и подтверждается уже приведенной библиографией [1 – 24].

Традиционное интегрирование возникает при рассмотрении, например, уравнения первого порядка, что является самым простейшим фильтром низких частот.

Самая обычная интегрирующая цепочка может быть описана, например, следующей передаточной функцией по Лапласу:

$$Y(s) = \frac{a_0}{b_0 + b_1 s} X(s). \quad (28)$$

Мы можем получить частотную характеристику этой системы, если заменим аргумент преобразования Лапласа  $s$  на комплексный аргумент преобразования Фурье, т.е. совершим следующую замену:

$$s \rightarrow i\omega. \quad (29)$$



Передаточная функция, строго говоря, равна корню квадратному из квадратичной формы, т.е. мы должны сначала получить следующее соотношение

$$Y(i\omega) = \frac{a_0}{b_0 + b_1 i\omega} X(i\omega). \quad (30)$$

Затем отношение выходной величины к входной величине следует умножить на комплексно-сопряженное число и из результата извлечь квадратный корень. Мы получим:

$$\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{a_0}{\sqrt{(b_0)^2 + (b_1\omega)^2}}. \quad (31)$$

Эта передаточная функция со всей очевидностью разбивается на пять разных диапазонов.

Во-первых, в случае

$$\omega \ll \frac{b_0}{b_1}, \quad (32)$$

то есть в случае, когда

$$b_0 \gg b_1\omega, \quad (33)$$

под корнем можно приблизительно оставить только второе слагаемое, которое легко выносится из-под корня. В этом случае можно приблизительно записать:

$$\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \approx \frac{a_0}{b_0}. \quad (34)$$

То есть в указанной области частот передаточная функция практически неизменна, при изменении частоты входного сигнала амплитуда выходного сигнала никак не изменяется. Этот участок можно назвать участком пропорционального пропускания входного сигнала.

Во-вторых, в случае

$$\omega \gg \frac{b_0}{b_1}, \quad (35)$$

то есть в случае, когда

$$b_0 \ll b_1\omega, \quad (36)$$

под корнем можно приблизительно оставить только второе слагаемое, которое легко выносится из-под корня. В этом случае можно приблизительно записать:

$$\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \approx \frac{a_0}{b_1\omega}. \quad (37)$$

То есть в указанной области частот передаточная функция затухает обратно пропорционально кратности увеличения частоты. Например, если частота на входе увеличится в четыре раза, то сигнал на выходе уменьшится также в четыре раза и так далее.

Этот участок можно назвать участком, на котором сигнал претерпевает интегрирование.

В-третьих, существует небольшая область частот, в которой

$$\omega \approx \frac{b_0}{b_1}, \quad (38)$$

то есть в случае, когда эти величины приблизительно соизмеримы

$$b_0 \approx b_1\omega. \quad (39)$$

В этом случае имеет место нечто среднее между предыдущими двумя случаями, то есть в указанной области частот передаточная функция затухает на величину, среднюю между двумя предыдущими вариантами, это приблизительно обратно пропорционально квадратному корню из кратности увеличения частоты. Например, если частота на входе увеличится в четыре раза, то сигнал на выходе уменьшится вдвое.

Этот участок можно назвать участком *половинного интегрирования*. Таким образом, половинное интегрирование – это не математические выдумки, а вполне реально существующее на практике действие.

В-четвертых, имеется участок перехода из нулевого интегрирования в половинное.

В-пятых, существуют участок перехода из половинного перехода в целое.

Эти два участка дают все примеры промежуточных состояний нецелого интегрирования, но не в большой области частот, а в малых областях.

Кроме того, если построить логарифмическую амплитудно-частотную характеристику такого интегрирующего звена, то есть зависимость выходного сигнала от частоты при единичной амплитуде этого входного сигнала, то можно увидеть, что она распадается на указанные пять участков. Приблизительно можно изобразить этот график только в виде отрезков, соответствующих первому и второму участкам, как показано линией 1 на *Рисунке 1*, а три остальных отличаются от этого приближенного графика не более чем на 3 дБ. Линия 2 на этом рисунке показывает график, если бы интегрирования не было. Линия 3 является средним алгебраическим между этими двумя линиями, она показывает график половинного интегрирования. Из этого факта можно сделать вывод, что половинное интегрирование приблизительно можно аппроксимировать функцией, составляющей среднее геометрическое между целым интегрированием и отсутствием интегрирования, однако, эта аппроксимация хорошо моделирует лишь зависимость амплитуды выходного сигнала, но она не является точной, а для фазовой характеристики зависимость более проста, поэтому не следует утверждать, что половинное интегрирование может быть получено как среднее геометрическое.

Таким образом, по крайней мере, для гармонических сигналов можно утверждать, что амплитуда от половины интеграла сигнала приблизительно равна среднему геометрическому от амплитуды исходного сигнала и амплитуды интеграла от этого сигнала:

$$\left| \frac{d^{\frac{1}{2}}}{dt^{\frac{1}{2}}} X(t) \right|^2 \approx |X(t)| \cdot \left| \frac{d}{dt} X(t) \right|. \quad (40)$$

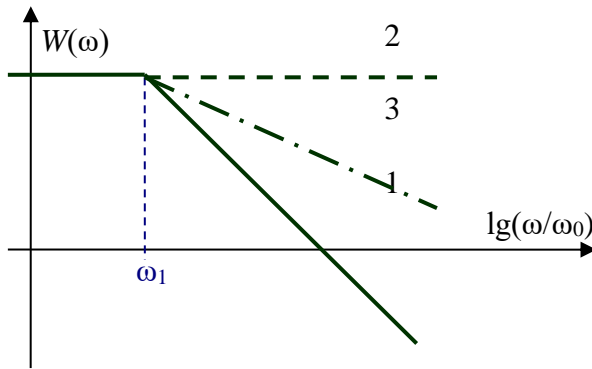


Рис. 1. Пример логарифмической амплитудно-частотной характеристики интегрирующего звена (реальный интегратор) – линия 1, пропорционального звена – линия 2, и звена, осуществляющего реальное половинное интегрирование – линия 3

Аналогично можно показать, что фазовый сдвиг при половинном дифференцировании равен среднему арифметическому между фазовым сдвигом исходного сигнала и фазовым сдвигам полностью проинтегрированного сигнала. Так гармонический сигнал

$$X(t) = A(t) \cos(\omega t). \quad (41)$$

Можно представить как проекцию вращающегося вектора на ось абсцисс, при этом амплитуда этого вектора равна амплитуде сигнала (41), а угол поворота вектора равен фазе (41), что соответствует традиционному векторному представлению гармонических сигналов, то есть:

$$X(t) = A(t)e^{i\omega t} = A(t)e^{i\varphi(t)}. \quad (42)$$

Интеграл от (41) имеет следующий вид:

$$Y(t) = \frac{1}{\omega} A(t) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = B(t)e^{i\theta(t)} \quad (43)$$

Здесь введены новые обозначения для новой амплитуды и новой фазы.

Иными словами, амплитуда уменьшается пропорционально частоте, а сдвиг фазы равен  $\pi/2$ . В случае половинного интегрирования амплитуда уменьшится в величину, равную корню из частоты, а сдвиг фазы будет вдвое меньшим:

$$Y_{0.5}(t) \approx \frac{1}{\sqrt{\omega}} A(t) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \quad (44)$$

В терминах соотношений (42), (43) можно записать:

$$Y_{0.5}(t) \approx \sqrt{A(t)B(t)} e^{i[\theta(t)+\varphi(t)]/2}. \quad (45)$$

Данное соотношение не имеет существенного значения для математики, поскольку оно не является строго математическим определением понятия половинной производной, однако, оно может оказаться достаточно полезным для приближенных вычислений, а также, на наш взгляд, оно достаточно полезно для инженерного представления о том, что же такое половинная производная. Это соотношение можно критиковать также с той позиции, что операции интегрирования и дифференцирования – это линейные операции. В соответствии с этим операции нецелого интегрирования и дифференцирования также должны быть линейными операциями. По внешнему виду соотношение (45) никак не выглядит линейным.

Из практики автоматического управления известна аппроксимация половинного или вообще нецелого интегрирования в операторной области (в области преобразований Лапласа) следующим приближенным соотношением [24]:

$$Y_\lambda(s) = \frac{1}{s^\lambda} \approx K_I \frac{\prod_{i=0}^{N-1} (1 + \frac{s}{z_i})}{\prod_{i=0}^{N-1} (1 + \frac{s}{p_i})}. \quad (46)$$

Здесь  $z_i$  и  $p_i$  – коэффициенты, симметрично возрастающие от наименьшего значения к наибольшему; например,  $p_i = k \cdot p_{i-1}$ ,  $z_i = k \cdot z_{i-1}$ ,  $p_0 \neq z_0$  [24].

Это соотношения явно является линейным, но оно также явно является приближенным.

Поэтому следует подчеркнуть, что соотношение (27), приведенное выше, является наилучшим определением нецелого дифференцирования и с позиции точности, и с позиции определения понятия некротного интегрирования.

А нецелое интегрирование можно определить двумя способами.

Во-первых, его можно определить как результат целого интегрирования величины, полученной нецелым дифференцированием. Во-вторых, его можно определить как результат нецелого дифференцирования величины, полученной целым интегрированием. В-третьих, его можно определить по аналогии с соотношением (27), а именно:

$$Y_\lambda(t) = \frac{1}{2\pi i} \lim_{\omega \rightarrow \infty} \int_{\sigma+i\omega}^{\sigma-i\omega} [e^{-st} s^{-\lambda} \cdot \int_0^\infty e^{-st} X(t) dt] ds. \quad (47)$$

Аналогичные рассуждения можно провести и в отношении нецелого дифференцирования соотношений (41) и (42). Производная от сигнала (41) имеет следующий вид:

$$Z(t) = \frac{dX(t)}{dt} = \omega A(t) \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (48)$$

Также введем обозначение

$$D(t) = \omega A(t). \quad (49)$$

$$\vartheta(t) = \varphi(t) + \frac{\pi}{2}. \quad (50)$$

В этих терминах соотношение (48) можно переписать в следующем виде:

$$Z(t) = \frac{dX(t)}{dt} = D(t)\cos(\vartheta(t)). \quad (51)$$

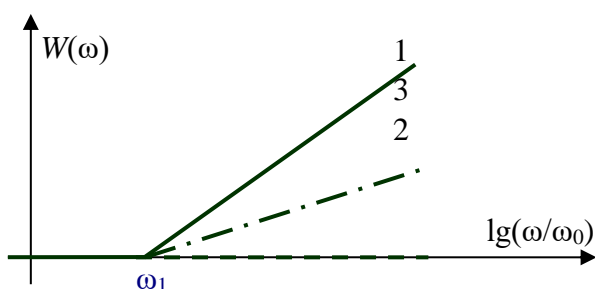
В векторном представлении получаем:

$$Z(t) = D(t)e^{i\vartheta(t)}. \quad (52)$$

Половинная производная в этом случае может быть представлена приблизительно следующим соотношением:

$$Z_{0.5}(t) \approx \sqrt{A(t)D(t)}e^{i[\vartheta(t)+\varphi(t)]/2}. \quad (53)$$

Приведенное соотношение (53) также не является строго математически обоснованным, оно интересно с инженерной точки зрения как один из вариантов понимания того, что такое половинное дифференцирование. Строгим определением является соотношение (27). Для иллюстрации технического дифференцирования, получаемого на дифференцирующей цепочки, а также отсутствия дифференцирования и половинного дифференцирования можно привести график аналогичной логарифмической амплитудно-частотной характеристики, подобный графику на *рисунке 1*. Этот график показан на *рисунке 2*.



*Рис. 2.* Пример логарифмической амплитудно-частотной характеристики звена реального дифференцирования — линия 1, пропорционального звена — линия 2, и звена, осуществляющего реальное половинное дифференцирование — линия 3

Таким образом, в отношении нецелого дифференцирования и нецелого интегрирования имеется достаточно много различных концепций, которые не противоречат друг другу. Рассматриваемая выше концепция наиболее интуитивно понятна с позиции инженерного подхода, хотя не безупречна. Концепция, основанная на соотношении (46), наиболее удобна для реализации и для математического моделирования с применением таких, например, программных средств, как *MATLAB Simulink*, *VisSim*, *SimInTech* или иных подобных программных средств. Концепция, основанная на соотношении (27), на наш взгляд, является наилучшей со всех позиций, поскольку она

одновременно и интуитивно понятна на инженерном уровне, и безупречна с математической точки зрения. Однако, мы в настоящее время затрудняемся назвать алгоритм, который бы позволял вычислять нецелую производную или нецелый интеграл от функции, которая поступает на вход цифрового устройства в режиме реального времени в виде отдельных отсчетов. Такой алгоритм безусловно может быть реализован на основании соотношения (46) или близкого к нему.

Целесообразность применения алгоритма по соотношениям (45) или (53) несущественна, поскольку простое выражение получается только для случая ровно половинного дифференцирования или половинного интегрирования, тогда как соотношение (46) позволяет задавать произвольный дробный показатель дифференцирования или интегрирования.

По-видимому, достаточно актуальной задачей для искусственного интеллекта было бы отыскание простых алгоритмов для вычисления нецелых производных и нецелых интегралов непосредственно по соотношениям (27) и (47).

В связи с этим не столь остро, но достаточно актуально стоит также задача вычисления и наглядной интерпретации производной в комплексной степени по соотношению (27) или интеграла в комплексной степени по соотношению (47).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены новые задачи для средств искусственного интеллекта на примере дифференцирования и интегрирования в комплексной степени. Математическое определение для этих операций в форме (27) и (47) впервые введены через прямое и обратное преобразования Лапласа. Для практического применения этих соотношений и наглядной интерпретации этих операций с целью осмысления на инженерном уровне желательно использование средств искусственного интеллекта, превышающих возможности традиционных математических вычислительных пакетов. С позиции дальнейшего развития этого направления можно указать интересный подход в плане применения гиперкомплексных чисел. Как известно, гиперкомплексными числами называют особую формы комплексных чисел, где имеется в общем виде четыре слагаемых, одно из которых является действительной частью числа, а три других — мнимые компоненты. Достоверно известно, что гиперкомплексные числа могут успешно применяться для обработки сигналов [36], для решения задач управления многоканальными объектами [37] и для использования нечеткой логики [38]. Все это — незаменимый математический аппарат для эвристических методов, применяемых в искусственном интеллекте. Рассмотрение возможности дифференцирования

и интегрирования в степени, которая выражается гиперкомплексным числом, позволит расширить инструментарий этого математического аппарата. Применение преобразований Лапласа в пространстве гиперкомплексных чисел должно иметь свое расширение, соответственно, простое использование соотношений (27) и (47), вероятно, не даст требуемого результата, однако, эти соотношения могут быть взяты за основу дальнейших рассуждений. Также предлагаемые математические соотношения могут оказаться полезными для методов нечеткой логики, методов генерации псевдослучайных чисел, для отыскания математических моделей тех физических объектов, для которых до настоящего времени адекватные модели не найдены вследствие сложности происходящих в них процессов, как, например, в квантовой электронике, в физике элементарных частиц [39]. Для случая слишком сложного вида функций  $f(t)$  вычисление производной в комплексной степени может оказаться достаточно сложной математической задачей. В этом случае такую задачу можно использовать в качестве тестового задания для сравнения вычислительных мощностей различных многоядерных процессоров, что также может оказаться в достаточной степени актуальным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Podlubny, I. Fractional Order Systems and  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers. IEEE Trans. Autom. Control 1999, 44, 208–214. [CrossRef]
- [2] Maamri, N.; Trigeassou, J. C. Integration of Fractional Differential Equations without Fractional Derivatives," 2021 9th International Conference on Systems and Control (ICSC), 2021, pp. 429-435, doi: 10.1109/ICSC50472.2021.9666533.
- [3] Mbodje, B.; Montseny, G.; Boundary fractional derivative control of the wave equation, in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 40, no. 2, pp. 378-382, Feb. 1995, doi: 10.1109/9.341815.
- [4] Trigeassou, J.; Maamri N.; Oustaloup, A. Automatic initialization of the Caputo fractional derivative, 2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, 2011, pp. 3362-3368, doi: 10.1109/CDC.2011.6160624.
- [5] Paola, M. Di; Pinnola F. P.; Spanos P. D. Analysis of multi-degree-of-freedom systems with fractional derivative elements of rational order, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967364.
- [6] Ionescu C. M.; Ionescu F. D. Power law and fractional derivative models can measure analgesia, 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/AQTR.2014.6857908.
- [7] Wei, X.; Liu D.; Boutat D. Caputo fractional derivative estimation for a class of signals satisfying a linear differential equation, 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), 2015, pp. 4598-4603, doi: 10.1109/ChiCC.2015.7260350.
- [8] Fukunaga, M.; Shimizu, N. Fractional derivative models of viscoelastic materials for large extension, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967439.
- [9] Leu, J.F.; Tsay, S.Y.; Hwang, C. Design of Optimal Fractional Order PID Controllers. J. Chin. Inst. Chem. Eng. 2002, 33, 175–179.
- [10] Stanislawski, R.; Rydel, M.; Li, Z. A New Reduced-Order Implementation of Discrete-Time Fractional-Order PID Controller. IEEE Access 2022, 10, 17417–17429. [CrossRef]
- [11] Zhmud, V.; Dimitrov, L.; Nosek, J. Automatic Control Systems. New Concepts and Structures of Regulators; RuScience: Moscow, Russia, 2018; p. 84.
- [12] Shekher, V.; Rai, P.; Prakash, O. Tuning and Analysis of Fractional Order PID Controller. Int. J. Electron. Electr. Eng. 2012, 5, 11–21.
- [13] Dumlu, A.; Ayten, K. Real time fractional-order control technique for coupled tank liquid level control process. Int. J. Adv. Appl. Sci. 2017, 4, 127–132. [CrossRef]
- [14] Dorcak, L.; Terpak, J.; Papajova, M.; Dorcakova, F.; Pivka, L. Design of the fractional-order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controllers based on the optimization with self-organizing migrating algorithm. Acta Montan. Slovaca 2007, 12, 285–293.
- [15] Abraham, A.; Biswas, A.; Das, S.; Dasgupta, S. Design of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers with an Improved Differential Evolution. Available online: [http://www.softcomputing.net/gecco2008\\_abraham.pdf](http://www.softcomputing.net/gecco2008_abraham.pdf) (accessed on 21 January 2022).
- [16] Das, S.; Pan, I.; Gupta, A. Improved Model Reduction and Tuning of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers for Analytical Rule Extraction with Genetic Programming. ISA Trans. 2012, 51, 237–261. [CrossRef] [PubMed]
- [17] Bettoua, K.; Charef, A. Control quality enhancement using fractional  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller. Int. J. Syst. Sci. 2009, 40, 875–888. [CrossRef]
- [18] El-Khazali, R. Fractional-order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller design. Comput. Math. Appl. 2013, 66, 639–646. [CrossRef]
- [19] Ranganayakulu, R.; Uday, B.B.; Rao, A.; Patle, D. A comparative study of fractional order  $PI^{\lambda}/PI^{\lambda}D^{\mu}$  tuning rules for stable first order plus time delay processes. Resour. Effic. Technol. 2016, 2, 136–152. [CrossRef]
- [20] Pan, Z.; Wang, X.; Hoang, T.; Chen, Y.; Tian, L. Design and Application of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller in Grid-Connected Inverter System. In Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Cleveland, OH, USA, 6–9 August 2017.
- [21] Puangdownreong, D. Optimal  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller Design Based on Spiritual Search for Wind Turbine Systems. Int. J. Innov. Comput. Inf. Control 2019, 15, 2259–2273.
- [22] Tytiuk, V.; Chorny, O.; Baranovskaya, M.; Serhienko, S.; Zachepa, I.; Tsvirkun, L.; Kuznetsov, V.; Tryputen, N. Synthesis of a Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -controller for a Closed System of Switched Reluctance Motor Control. Ind. Control Syst. 2019, 2, 35–42. [CrossRef]
- [23] Mohammed, R. Quadrotor Control Using Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Control. JACET 2019, 5, 1–10.
- [24] Zhmud, V.; Dimitrov, L. Using the Fractional Differential Equation for the Control of Objects with Delay. Symmetry 2022, 14, 635. <https://doi.org/10.3390/sym14040635>
- [25] Kilbas, A. A., Srivastava, H.M., Trujillo, J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations, North-Holland Mathematical Studies, Vol.204,



- Elsevier (North-Holland) Science Publishers, Amsterdam, London and New York, 2006. <https://www.elsevier.com/books/theory-and-applications-of-fractional-differential-equations/kilbas/978-0-444-51832-3>
- [26] Fractional Calculus: Theory and Applications. Edited by F. Mainardi. <https://www.mdpi.com/books/pdfdownload/book/755>
- [27] Ross, B. (Ed.). The fractional calculus and its application, in: Lecture notes in mathematics, vol.475, Springer-Verlag, Berlin, 1975.
- [28] Baleanu, D., Machado, J.A.T., Luo, A.C.J. Fractional Dynamics and Control, Springer Science, 2012. <http://rentals.springer.com/product/9781461404576>
- [29] Bertram Ross, Francis H. Northover, A use for a derivative of complex order in the fractional calculus, 9(4),(1977), 400-406;
- [30] Bai, Z., Lu, H. Positive solutions for a boundary value problem of nonlinear fractional differential equation, J. Math. Anal. Appl. 311 (2005), 495-505. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002247X05001733>
- [31] Neamaty, A., Yadollahzadeh, M., Darzi, R. On fractional differential equation with complex order. Progr. Fract. Differ. Appl 1.3 (2015): 223-227. <https://www.naturalspublishing.com/files/published/173ze8c3p6e39t.pdf>
- [32] Wang, Y.; Chen, G. Formalization of Laplace Transform in Coq, 2017 International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), 2017, pp. 13-21, doi: 10.1109/DSA.2017.12.
- [33] Erfani, S.; Ahmadi, M. Fundamentals of generalized Laplace transform techniques for linear time-varying systems, ISSCS 2011 - International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISSCS.2011.5978707.
- [34] Adams, J. L.; Veillette, R. J.; Hartley T. T.; Adams, L. I. Restrictions on the inverse Laplace transform for fractional-order systems," ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967367.
- [35] Fulton, D. Explaining complex power, in *IEEE Power Engineering Review*, vol. 19, no. 6, pp. 47-49, June 1999, doi: 10.1109/39.768516.
- [36] H. D. Schutte and J. Wenzel, "Hypercomplex numbers in digital signal processing," *1990 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1990, pp. 1557-1560 vol.2, doi: 10.1109/ISCAS.1990.112431.
- [37] D. Schulz, J. Seitz and J. P. C. L. da Costa, "Widely linear SIMO filtering for hypercomplex numbers," *2011 IEEE Information Theory Workshop*, 2011, pp. 390-395, doi: 10.1109/ITW.2011.6089486.
- [38] R. A. Watanabe, E. Esmi Laureano and C. C. Trinca Watanabe, "Fuzzy Octonion Numbers and Fuzzy Hypercomplex Numbers," *2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858970.
- [39] В.А. Жмудь. Связь уравнений Томаса-Ферми и Риккати. Автоматика и программная инженерия. 2014. 4(10). С. 81–84. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-10.pdf>



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

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

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

Статья поступила 07.07.2022.

## Derivation and Integration of Functions in a Complex Degree

V.A. Zhmud

Novosibirsk Institute of Program Systems, Russia

Institute of Laser Physics SB RAS, Russia

Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the RAS

*Abstract:* Some mathematical problems reach such complexity that their solution and engineering interpretation is no longer possible, or at least extremely difficult for researchers without the use of artificial intelligence tools. Mathematical relations for such problems are very difficult to interpret. In connection with the development of means for mathematical calculations, such problems have partially lost their relevance. However, new problems can be posed in mathematics, for which the existing means of mathematical calculations may still be insufficient. Presumably, such problems include the problem of differentiation and integration to a complex degree. Differentiation of various functions is widely used in many branches of mathematics, technology, and science. Historically, differentiation was known for cases where the exponent of the degree of differentiation was a positive integer, which meant the multiplicity of taking the differentiation operation. Later, this operation was extended with the notion that the exponent can also be negative, which means multiple integration. Differentiation to a negative power is defined as integration, and integration to a negative power is defined as differentiation. Subsequently, the question of the possibility of non-integer differentiation and, accordingly, integration was raised and positively resolved. This extension of the mathematical apparatus proved to be very useful, since it allows the design and implementation of more efficient controllers, for example, for systems with negative feedback. Publications about taking the derivative to a purely imaginary degree have already appeared, but, apparently, the question of differentiation was also discussed in the literature, in which the degree of taking the derivative would be expressed by a complex number. The article proposes an approach to solving this problem, which may not have been discussed yet. If this complex number, denoting the degree of differentiation, has a positive real part,

the operation is better called a special form of differentiation, but if the real part of the degree of differentiation is negative, then the operation is more consistent with the concept of integration. Formally, inverting the exponent of the degree of differentiation turns the operation into integration and vice versa. Throughout history, it has been repeatedly confirmed that mathematics, from time to time, solves problems that, at the time of their discovery, have no obvious applied value; however, the development of a theory is valuable in itself, even if there is currently no obvious applied value of such development. In addition, experience shows that each new mathematical tool will eventually be used to solve an important practical problem.

*Key words:* artificial intelligence, automation, non-integer differentiation, non-integer integration, Laplace transform, complex numbers.

## REFERENCES

- [1] Podlubny, I. Fractional Order Systems and  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers. IEEE Trans. Autom. Control 1999, 44, 208–214. [CrossRef]
- [2] Maamri, N.; Trigeassou, J. C. Integration of Fractional Differential Equations without Fractional Derivatives," 2021 9th International Conference on Systems and Control (ICSC), 2021, pp. 429–435, doi: 10.1109/ICSC50472.2021.9666533.
- [3] Mbodje, B.; Montseny, G.; Boundary fractional derivative control of the wave equation, in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 40, no. 2, pp. 378–382, Feb. 1995, doi: 10.1109/9.341815.
- [4] Trigeassou, J.; Maamri N.; Oustaloup, A. Automatic initialization of the Caputo fractional derivative, 2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, 2011, pp. 3362–3368, doi: 10.1109/CDC.2011.6160624.
- [5] Paola, M. Di; Pinnola F. P.; Spanos P. D. Analysis of multi-degree-of-freedom systems with fractional derivative elements of rational order, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967364.
- [6] Ionescu C. M.; Ionescu F. D. Power law and fractional derivative models can measure analgesia, 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014, pp. 1–4, doi: 10.1109/AQTR.2014.6857908.
- [7] Wei, X.; Liu D.; Boutat D. Caputo fractional derivative estimation for a class of signals satisfying a linear differential equation, 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), 2015, pp. 4598–4603, doi: 10.1109/ChiCC.2015.7260350.
- [8] Fukunaga, M.; Shimizu, N. Fractional derivative models of viscoelastic materials for large extension, ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967439.
- [9] Leu, J.F.; Tsay, S.Y.; Hwang, C. Design of Optimal Fractional Order PID Controllers. J. Chin. Inst. Chem. Eng. 2002, 33, 175–179.
- [10] Stanislawski, R.; Rydel, M.; Li, Z. A New Reduced-Order Implementation of Discrete-Time Fractional-Order PID Controller. IEEE Access 2022, 10, 17417–17429. [CrossRef]
- [11] Zhmud, V.; Dimitrov, L.; Nosek, J. Automatic Control Systems. New Concepts and Structures of Regulators; RuScience: Moscow, Russia, 2018; p. 84.
- [12] Shekher, V.; Rai, P.; Prakash, O. Tuning and Analysis of Fractional Order PID Controller. Int. J. Electron. Electr. Eng. 2012, 5, 11–21.
- [13] Dumlu, A.; Ayten, K. Real time fractional-order control technique for coupled tank liquid level control process. Int. J. Adv. Appl. Sci. 2017, 4, 127–132. [CrossRef]
- [14] Dorcak, L.; Terpak, J.; Papajova, M.; Dorcakova, F.; Pivka, L. Design of the fractional-order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controllers based on the optimization with self-organizing migrating algorithm. Acta Montan. Slovaca 2007, 12, 285–293.
- [15] Abraham, A.; Biswas, A.; Das, S.; Dasgupta, S. Design of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers with an Improved Differential Evolution. Available online: [http://www.softcomputing.net/gecco2008\\_abraham.pdf](http://www.softcomputing.net/gecco2008_abraham.pdf) (accessed on 21 January 2022).
- [16] Das, S.; Pan, I.; Gupta, A. Improved Model Reduction and Tuning of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controllers for Analytical Rule Extraction with Genetic Programming. ISA Trans. 2012, 51, 237–261. [CrossRef] [PubMed]
- [17] Bettoua, K.; Charef, A. Control quality enhancement using fractional  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller. Int. J. Syst. Sci. 2009, 40, 875–888. [CrossRef]
- [18] El-Khazali, R. Fractional-order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  controller design. Comput. Math. Appl. 2013, 66, 639–646. [CrossRef]
- [19] Ranganayakulu, R.; Uday, B.B.; Rao, A.; Patle, D. A comparative study of fractional order  $PI^{\lambda}/PI^{\lambda}D^{\mu}$  tuning rules for stable first order plus time delay processes. Resour. Effic. Technol. 2016, 2, 136–152. [CrossRef]
- [20] Pan, Z.; Wang, X.; Hoang, T.; Chen, Y.; Tian, L. Design and Application of Fractional Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller in Grid-Connected Inverter System. In Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Cleveland, OH, USA, 6–9 August 2017.
- [21] Puangdownreong, D. Optimal  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller Design Based on Spiritual Search for Wind Turbine Systems. Int. J. Innov. Comput. Inf. Control 2019, 15, 2259–2273.
- [22] Tytiuk, V.; Chorny, O.; Baranovskaya, M.; Serhienko, S.; Zachepa, I.; Tsvirkun, L.; Kuznetsov, V.; Tryputen, N. Synthesis of a Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -controller for a Closed System of Switched Reluctance Motor Control. Ind. Control Syst. 2019, 2, 35–42. [CrossRef]
- [23] Mohammed, R. Quadrotor Control Using Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Control. JACET 2019, 5, 1–10.
- [24] Zhmud, V.; Dimitrov, L. Using the Fractional Differential Equation for the Control of Objects with Delay. Symmetry 2022, 14, 635. <https://doi.org/10.3390/sym14040635>
- [25] Kilbas, A. A., Srivastava, H.M., Trujillo, J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations, North-Holland Mathematical Studies, Vol.204, Elsevier (North-Holland) Science Publishers, Amsterdam, London and New York, 2006. <https://www.elsevier.com/books/theory-and-applications-of-fractional-differential-equations/kilbas/978-0-444-51832-3>
- [26] Fractional Calculus: Theory and Applications. Edited by F. Mainardi. <https://www.mdpi.com/books/pdfdownload/book/755>
- [27] Ross, B. (Ed.). The fractional calculus and its application, in: Lecture notes in mathematics, vol.475, Springer-Verlag, Berlin, 1975.
- [28] Baleanu, D., Machado, J.A.T., Luo, A.C.J. Fractional Dynamics and Control, Springer Science, 2012. <http://rentals.springer.com/product/9781461404576>

- [29] Bertram Ross, Francis H. Northover, A use for a derivative of complex order in the fractional calculus, 9(4),(1977), 400-406;
- [30] Bai, Z., Lu, H. Positive solutions for a boundary value problem of nonlinear fractional differential equation, J. Math. Anal. Appl. 311 (2005), 495-505. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S022247X05001733>
- [31] Neamaty, A., Yadollahzadeh, M., Darzi, R. On fractional differential equation with complex order. Progr. Fract. Differ. Appl 1.3 (2015): 223-227. <https://www.naturalspublishing.com/files/published/173ze8c3p6e39t.pdf>
- [32] Wang, Y.; Chen, G. Formalization of Laplace Transform in Coq, 2017 International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), 2017, pp. 13-21, doi: 10.1109/DSA.2017.12.
- [33] Erfani, S.; Ahmadi, M. Fundamentals of generalized Laplace transform techniques for linear time-varying systems, ISSCS 2011 - International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISSCS.2011.5978707.
- [34] Adams, J. L.; Veillette, R. J.; Hartley T. T.; Adams, L. I. Restrictions on the inverse Laplace transform for fractional-order systems," ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967367.
- [35] Fulton, D. Explaining complex power, in *IEEE Power Engineering Review*, vol. 19, no. 6, pp. 47-, June 1999, doi: 10.1109/39.768516.
- [36] H. D. Schutte and J. Wenzel, "Hypercomplex numbers in digital signal processing," 1990 *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1990, pp. 1557-1560 vol.2, doi: 10.1109/ISCAS.1990.112431.
- [37] D. Schulz, J. Seitz and J. P. C. L. da Costa, "Widely linear SIMO filtering for hypercomplex numbers," 2011 *IEEE Information Theory Workshop*, 2011, pp. 390-395, doi: 10.1109/ITW.2011.6089486.
- [38] R. A. Watanabe, E. Esmi Laureano and C. C. Trinca Watanabe, "Fuzzy Octonion Numbers and Fuzzy Hypercomplex Numbers," 2019 *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858970.
- [39] В.А. Жмудь. Связь уравнений Томаса-Ферми и Риккати. Автоматика и программная инженерия. 2014. 4(10). С. 81–84. <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-4-2014-10.pdf>



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)

630073, Novosibirsk,  
str. Prosp. Lavrientieva, h. 6/1

The paper has been received on 07/07/2022.

# Синтез ПИД-регулятора для управления нелинейным объектом с положительной нелинейной обратной связью

В.А. Жмудь<sup>1, 2, 3</sup>, В.М. Семибаламут<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН, Новосибирск, Россия

*Аннотация.* Наиболее сложными для управления являются нелинейные объекты, среди них наиболее сложными являются объекты с нелинейными обратными связями, в этом классе объектов самыми сложными являются такие объекты, в которых эти нелинейные обратные связи – положительные. Это означает, что каждое отклонение от равновесного состояния в этом объекте за счет действия обратных связей дополнительно возрастает, провоцируя лавинообразный процесс отклонения от равновесного состояния с нарастающей скоростью. Такой процесс может развиваться до весьма больших значений, которые ограничиваются только физическими возможностями формирования максимального выходного отклонения от равновесия, что при моделировании или при аналитическом вычислении выходного состояния даёт бесконечно нарастающее значение. Некоторые модели объектов этого класса могут быть настолько сложными, что решение задачи управления может быть осуществлен только самым эффективным из всех известных способов, состоящим в создании псевдо-локальных обратных стабилизирующих связей в дополнение к традиционному ПИД-регулятору. Если не принимать в расчет этот метод, который также может иметь свои недостатки, а ориентироваться только на традиционную схему последовательного ПИД-регулятора, то методов проектирования такого регулятора известно крайне мало. Самый эффективный метод состоит в численной оптимизации при моделировании, однако, первые эксперименты с одним из таких модельных экспериментов окончились неудачей. Данная статья раскрывает причины этой неудачи и предлагает метод преодоления этой неудачи, эффективность решения поставленной задачи этим способом подтверждается успешным её решением.

*Ключевые слова:* автоматика, ПИД-регулятор, управление, нелинейный объект, численная оптимизация, моделирование, стоимостная функция

## ВВЕДЕНИЕ

В публикациях [1], [2] обсуждается решение задачи управления объектом с нелинейными обратными связями следующего вида:

$$\dot{y} = a_1|y|\dot{y} - a_2|y|y + b(t)u + M(t). \quad (1)$$

«Здесь  $t$  – время,  $y$  – выходной сигнал объекта,  $\dot{y}$  – его первая производная по времени,  $\ddot{y}$  – его вторая производная по времени,  $u$  – сигнал управления, подаваемый на вход, который мы можем формировать по своему желанию, исходя их результатов измерения выходного сигнала,  $M(t)$  – неизвестное и не контролируемое возмущение, поступающее на объект, приложенное к его выходу,  $a_1$  и  $a_2$  – постоянные известные коэффициенты, в частности,  $a_1 = 5$ ,  $a_2 = 2$ » [2]. Здесь мы изменили знак коэффициента  $a_1$  в сравнении с [2], заменили минус на плюс. Это делает соответствующую обратную связь положительной. Ранее показано, что эта задача не простая даже в том случае, если обе нелинейные обратные связи – отрицательные [1], [2].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В нелинейном объекте (1) положим первый коэффициент отрицательным, что делает обратную связь, содержащую этот коэффициент, положительной с учетом уже имеющегося знака «минус» в уравнении (1). Ставится задача отыскания коэффициентов последовательного

ПИД-регулятора в традиционной структуре системы автоматического управления с единичной отрицательной обратной связью: требуется, чтобы полученная система обладала по возможности наилучшими из возможных показателями качества, включающих устойчивость, длительность переходного процесса, перерегулирование. Передаточная функция ПИД-регулятора также отыскивается в традиционной форме:

$$W(s) = k_p + \frac{1}{s}k_i + sk_d. \quad (2)$$

«Здесь  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  – коэффициенты пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего трактов,  $s$  – оператор преобразования Лапласа» [2]. Особенностью постановки задачи является положительная обратная связь внутреннего контура структуры модели объекта.

## ОБОСНОВАНИЕ ТРУДНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

Можно попробовать решать поставленную задачу отыскания наилучших значений коэффициентов регулятора с помощью численной оптимизации с использованием программы *VisSim* [3–11]. Для решения этой задачи целесообразно запрограммировать графическим путем структуру, которая содержит собственно систему, то есть объект, регулятор и обратную связь, а также три блока “*Parameter Unknown*” для запуска процедуры оптимизации, а также один общий блок “*Cost*”,



на вход которого поступает результат вычисления стоимостной функции. Для вычисления стоимостной функции из сигнала ошибки требуется также соответствующая структура, которая осуществляет эти вычисления в полном соответствии со следующим уравнением [2].

$$F_c(T) = \int_0^T \{t|e(t)| + f[e(t)]\}dt. \quad (3)$$

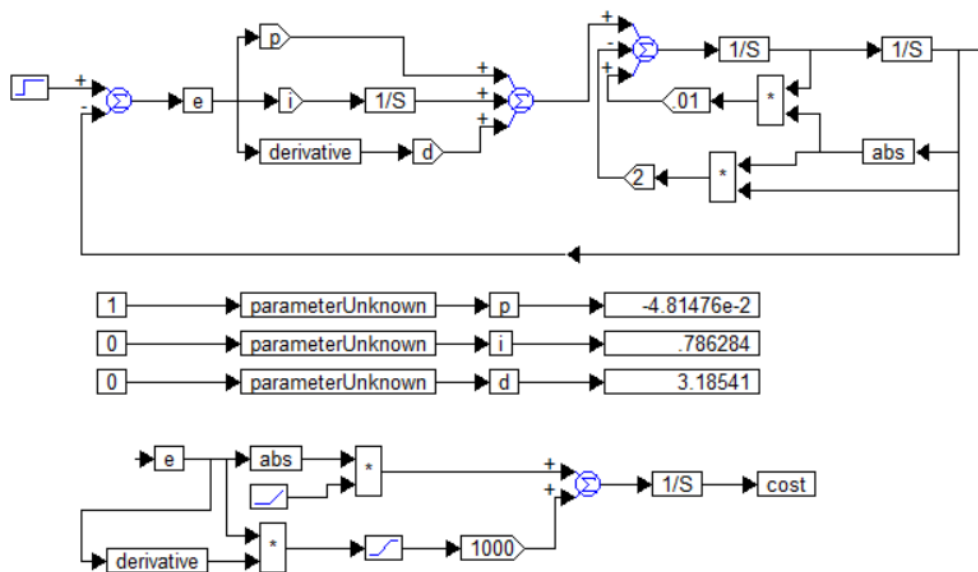
Здесь

$$f[e(t)] = 1000 \cdot \max \{0; e(t) \frac{d}{dt} e(t)\}. \quad (4)$$

В очень многих случаях этой методики вполне достаточно для получения успешного решения задачи [8–11]. Достаточно выбрать режим «оптимизации», запустить его, и в итоге получаются требуемые значения коэффициентов для передаточной функции (2). Однако в случае, изменения знака обратной связи, с относительно большим значением этого коэффициента по величине,  $a_1 = 5$ , процедура, к сожалению, не завершается успешно. Происходит следующее: поиск уходит в область, где, как минимум, один из искомым коэффициентом и (или) значение выходного сигнала в системе устремляются к бесконечности, после достижения максимально допустимого для данной версии программы VisSim поиск прерывается, никакого приемлемого значения для набора коэффициентов не отыскивается.

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Как известно из предыдущих исследований, в случае отрицательной обратной связи процедура синтеза регулятора завершается автоматически успешно. Если первый коэффициент задать нулевым, т. е.  $a_1 = 0$ , тогда метод численной оптимизации также дает успешное решение. На этом основании можно утверждать, что при малом значении этого коэффициента решение задачи также будет успешным. Предлагается осуществить итеративный метод настройки, который состоит в том, что начальные условия задачи принимаются облегченными, при которых данный коэффициент принимает малое значение  $a_1 = 0,01$ . Структура такой системы показана на *Рис. 1*. В результате численной оптимизации получены следующие коэффициенты регулятора:  $k_p = -0,0481$ ,  $k_i = 0,786$ ,  $k_D = 3,2185$ . Соответствующий переходный процесс в системе как отклик на единичный ступенчатый скачок задания  $u(t)$  показан на *Рис. 2*. Этот процесс демонстрирует высокое качество: перерегулирование отсутствует, запас устойчивости по этой причине оценивается как значительный. Это позволяет предполагать, что при небольшом увеличении указанного коэффициента положительной обратной связи система ещё может оставаться устойчивой.



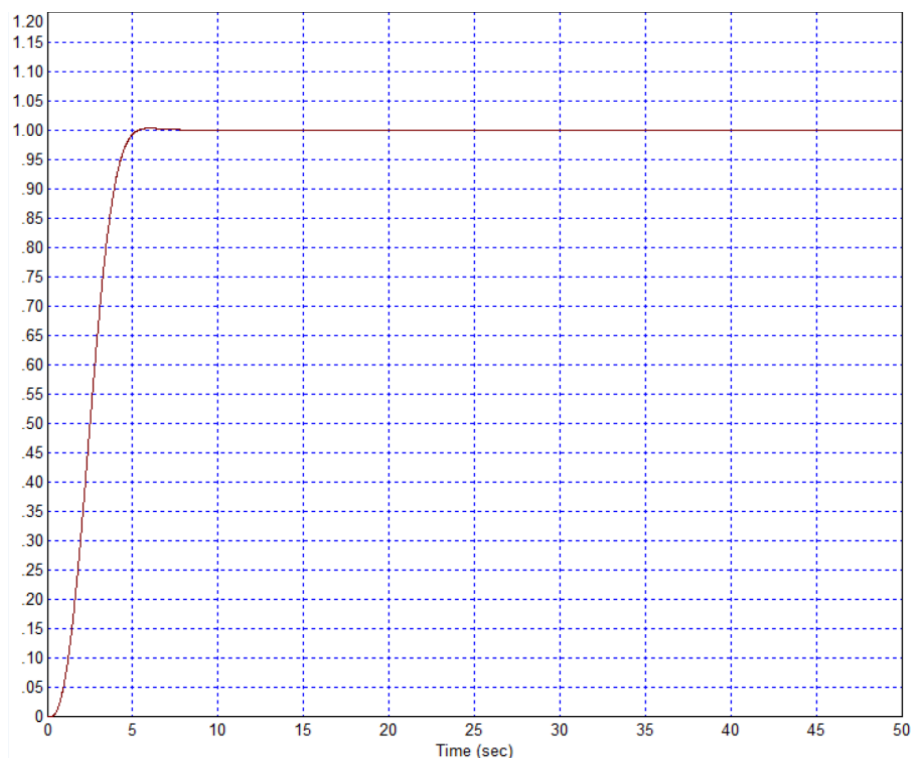
*Рис. 1.* Структура предлагаемой системы управления:  $p, i, d$  – упрощенные обозначения коэффициентов с такими индексами, соответственно, т.е.  $k_p, k_i, k_D$ ,  $derivative$  – блок вычисления производной,  $1/S$  – блок вычисления интегратора,  $\Sigma$  – блок суммирования или вычитания, в зависимости от знаков у входов,  $v(t)$  – сигнал задания, т. е. предписанного значения для выходной величины  $y(t)$ , пятиугольники с цифрой – коэффициенты усиления с обозначенным значением коэффициента,  $abs$  – блок вычисления абсолютного значения, прямоугольники со звездочкой внутри – блоки умножения сигналов,  $e$  – сигнал ошибки

Полученные значения коэффициентов регулятора (2) предлагается взять за стартовые значения, после чего увеличить коэффициент, например, вдвое, получив при этом  $a_1 = 0,01$ . С новыми значениями коэффициента регулятора

мы, используя их в качестве стартовых значений вновь увеличиваем значение этого коэффициента и снова запускаем процесс автоматической численной оптимизации. Постепенно можно заметить усложнение задачи. Так,

например, при коэффициентах, полученных при оптимизации регулятора для  $a_1 = 0,2$ ,

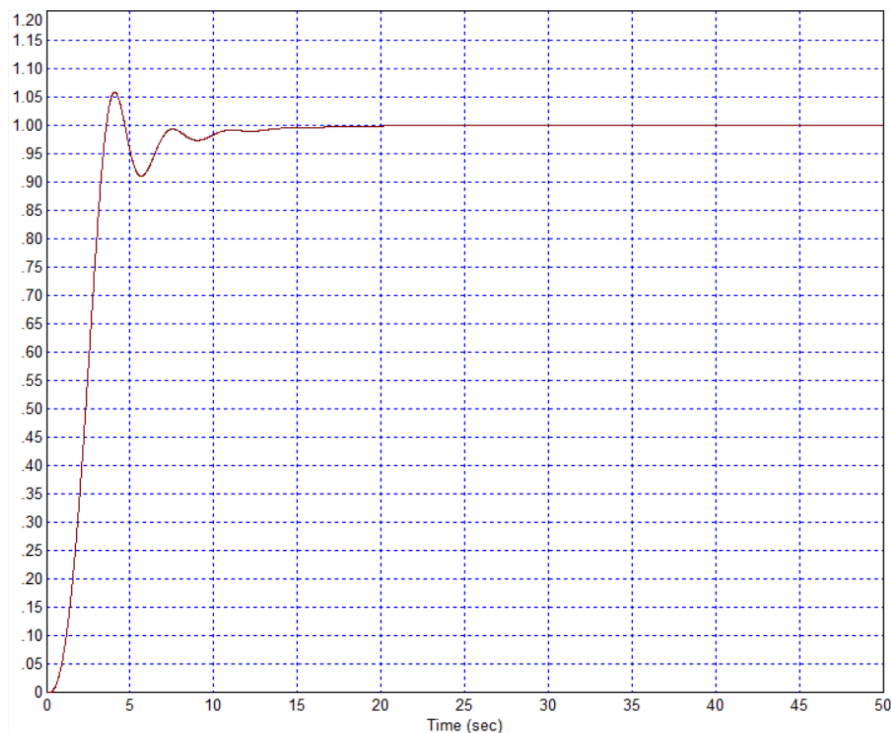
переходный процесс по виду почти не отличается от процесса, показанного на *Рис. 2*.



*Рис. 2.* Переходные процессы в системе по структуре *Рис. 1*

Если же при этих значениях коэффициентов регулятора задать значение параметра модели объекта  $a_1 = 2$ , то в полученном процессе перерегулирование составит 6%, хотя процесс

остаётся устойчивым, как показано на *Рис. 3*. Если же используя эти стартовые значения запустить оптимизацию, получаем процесс, показанный на *Рис. 4*.



*Рис. 3.* Переходные процессы в системе по структуре *Рис. 1* при коэффициентах регулятора, оптимизированных для значения  $a_1 = 0,2$ , в случае, когда фактическое значение этого параметра  $a_1 = 2$

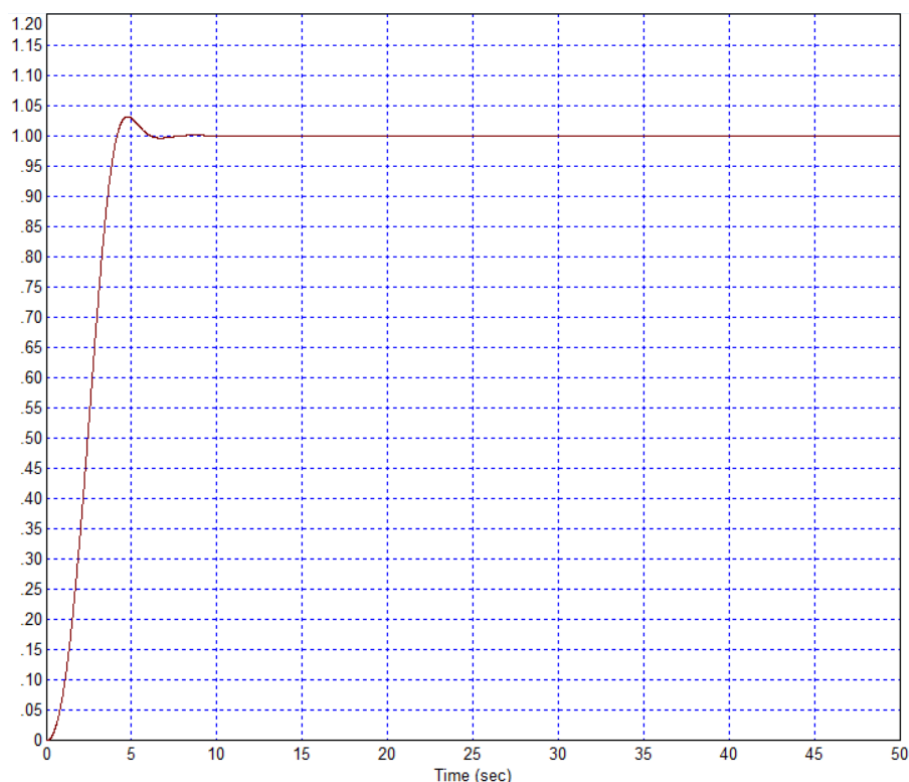


Рис. 4. Переходные процессы в системе по структуре Рис. 1 при коэффициентах регулятора, оптимизированных для значения  $a_1 = 2$ , в случае, когда фактическое значение этого параметра совпадает с этим значением:  $a_1 = 2$

В этом случае перерегулирование снижается до 3%. Применяя эту процедуру далее, находим коэффициенты регулятора для случая  $a_1 = 5$ . В результате этой процедуры получены следующие коэффициенты регулятора:  $k_p = 1,011$ ,  $k_i = 0,977$ ,  $k_D = 7,28$ . В переходном процессе перерегулирование составляет приблизительно 2,5%. Далее для того, чтобы оценить, насколько процесс остаётся удовлетворительным при различных амплитудах входного ступенчатого скачка, необходимо осуществить серию экспериментов при разных амплитудах, поскольку объект является нелинейным, а значит и полученная система обязательно является нелинейной. Процессы при амплитуде входного сигнала от 0,2 до 1,0 с шагом 0,2 показаны на Рис. 5. С уменьшением амплитуды входного сигнала в процессе постепенно возрастает перерегулирование. С дальнейшим снижением амплитуды возникает вторая волна колебаний, что приводит к увеличению переходного процесса. Процессы при амплитуде входного сигнала от 1,0 до 1,4 с шагом 0,2

показаны на Рис. 5. Если же амплитуда входного сигнала увеличивается до 1,5, то система становится неустойчивой, соответствующий неустойчивый переходный процесс показан на Рис. 7.

Кроме того, если даже входной сигнал равен единице, то в случае подачи на вход обратного скачка, который возвращает задание из единичного состояния в нулевое, то обратный переходный процесс характеризуется намного более худшим качеством: в процессе имеется перерегулирование на уровне 20%, затем колебательный процесс, который затухает относительно быстро (следующее перерегулирование в 4 раза меньше, оно составляет 5%, соответственно, третье перерегулирование пренебрежимо мало, оно равно 1,5% и так далее. Этот процесс показан на Рис. 8. Там же показана вся структура системы, включая формирователь двух ступенек, состоящий из двух отдельных формирователей ступенчатых сигналов, второй из которых содержит запаздывание на 40 с.

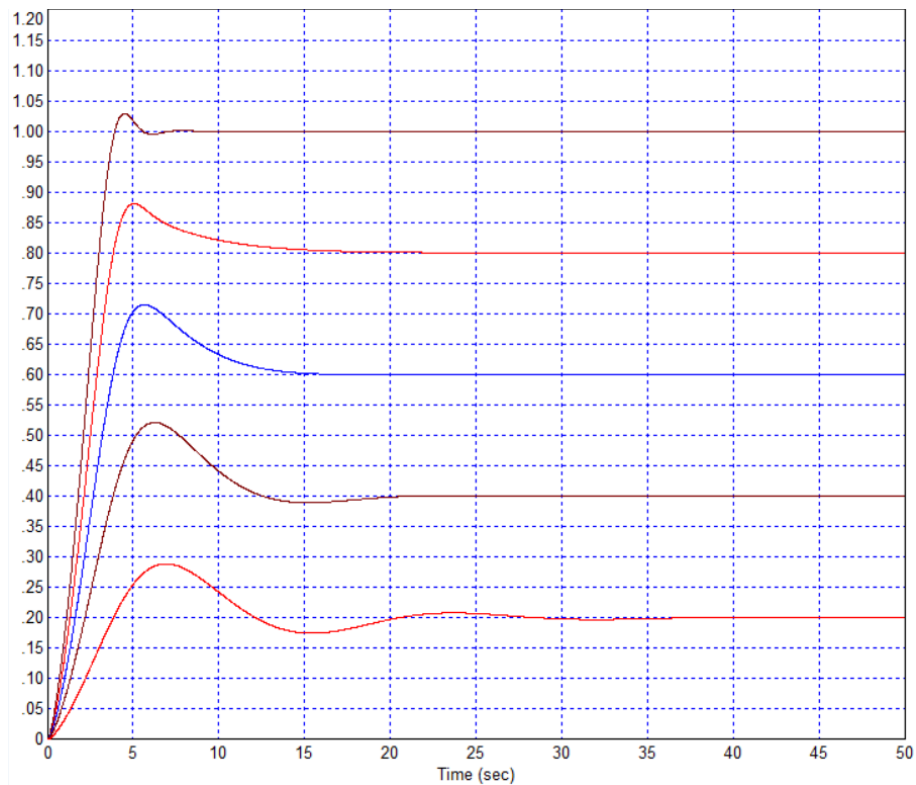


Рис. 5. Процессы при амплитуде входного сигнала от 0,2 до 1,0 с шагом 0,2 (значение задания легко установить по установившемуся значению процессов, которое совпадает с заданием), при этом  $a_1 = 5$

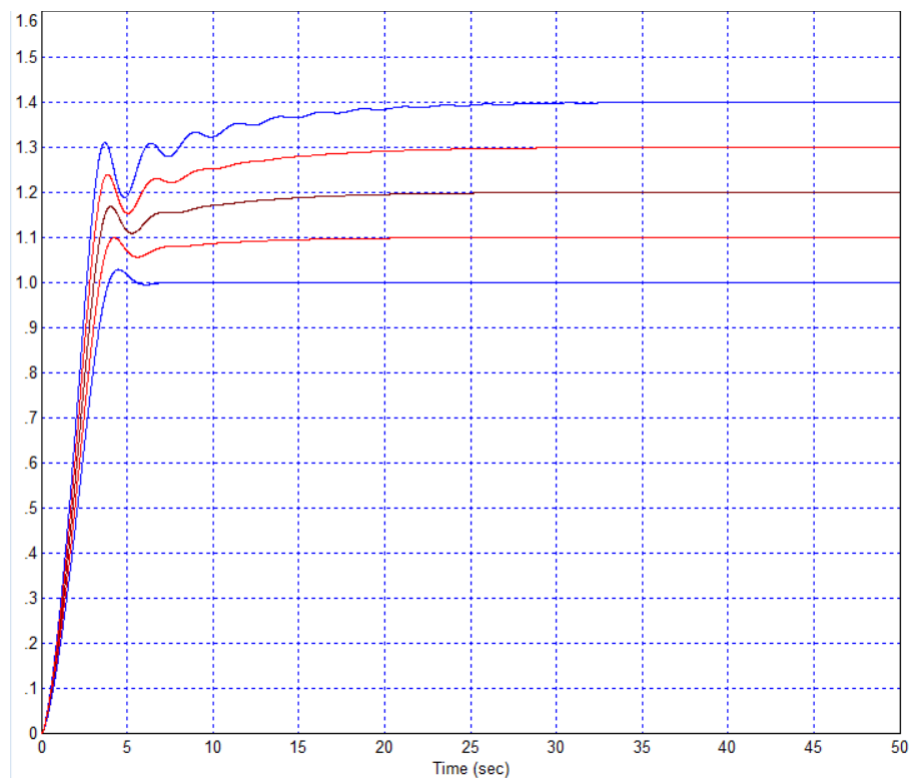


Рис. 6. Процессы при амплитуде входного сигнала от 1,0 до 1,4 с шагом 0,2 (значение задания легко установить по установившемуся значению процессов, которое совпадает с заданием), при этом  $a_1 = 5$



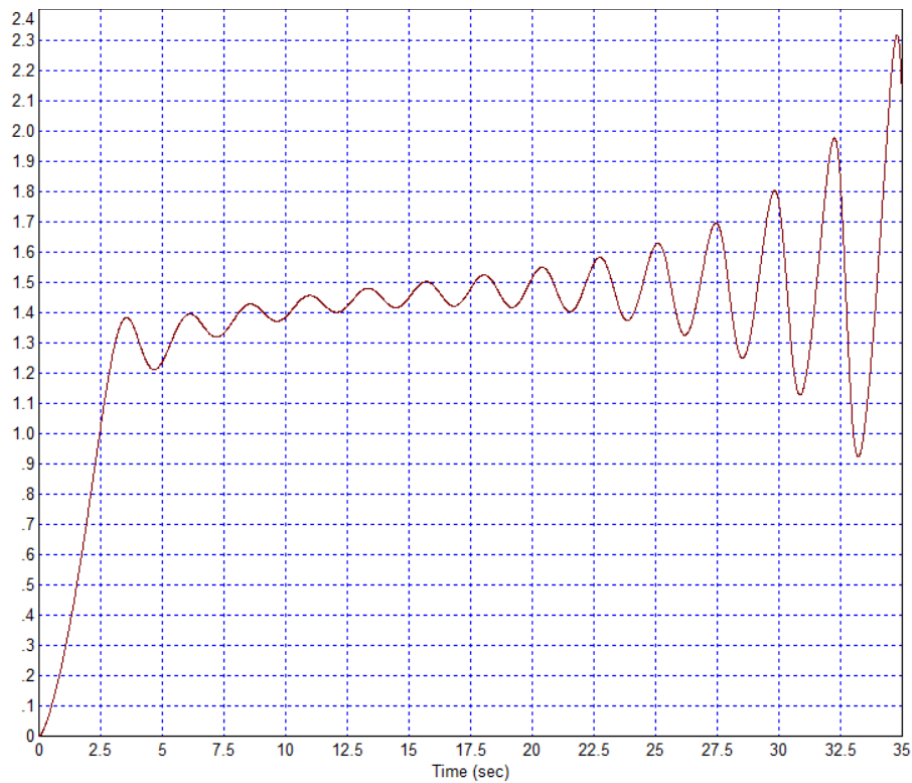


Рис. 7. Неустойчивый процесс при амплитуде входного сигнала 1,5 при  $a_1 = 5$

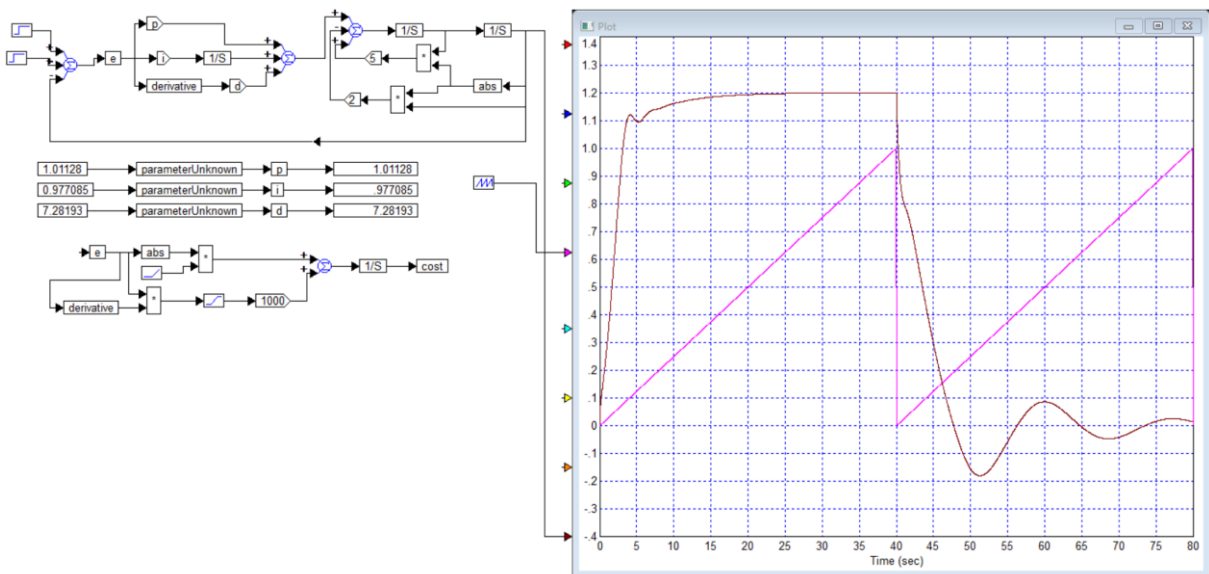


Рис. 8. Структура с моделированием двух единичных ступенчатых скачков, прямого и обратного; здесь же показан переходный процесс в этом случае при использовании регулятора, рассчитанного по единственному скачку; синяя линия на графике показывает пилообразный сигнал, который предлагается использовать вместо линейно нарастающего сигнала в следующей стадии оптимизации при использовании сигнала с двумя скачками, в моменты 0 и 40 с

#### ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ РЕГУЛЯТОРА

Как отмечено в предыдущей статье [2], при синтезе регулятора для нелинейного объекта может оказаться, что полученная система будет неустойчива в малом, то есть в том случае, если входной сигнал чрезвычайно мал, близок к нулю. Эта ситуация не выявляется, если входной сигнал строго равен нулю, она лучше всего

выявляется, если сигнал из ненулевого состояния становится нулевым. По этой причине рекомендуется в качестве тестового сигнала брать не единичное ступенчатое воздействие, а сумму двух воздействий, одно из которых – положительный скачок, а другое – отрицательный скачок той же амплитуды. Сформируем такой сигнал так, чтобы запаздывание второго сигнала составляло 40 с, это необходимо, чтобы отклик от первого скачка

почти полностью закончился до начала второго скачка. При этом вместо множителя  $t$  в уравнении (3) используем пилообразный сигнал, который линейно нарастает от нуля до 1 на интервале от нуля до 40 с, после чего резко становится нулевым и снова линейно нарастает с таким же наклоном до этой же величины на второй части интервала от 40 с до 80 с. В результате этой процедуры получены следующие коэффициенты регулятора:  $k_p = 2,57$ ,  $k_i = 0,691$ ,  $k_D = 7,316$ . Полученный процесс показан на Рис. 9.

Для верификации и валидации полученного результата следует построить семейство переходных процессов. Рис. 10 представляет такое семейство при скачках на входе с амплитудой от 0,1 до 1,2 с шагом 0,1.

Рис. 11 демонстрирует семейство переходных процессов при скачках на входе с амплитудой от 0,01 до 0,1 с шагом 0,01.

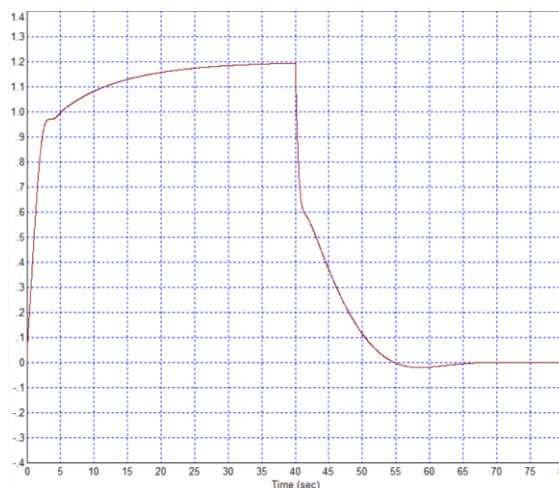


Рис. 9. Переходный процесс в ответ на два скачка амплитудой +1 и -1 при  $a_1 = 5$  и при коэффициентах  $k_p = 2,57$ ,  $k_i = 0,691$ ,  $k_D = 7,316$

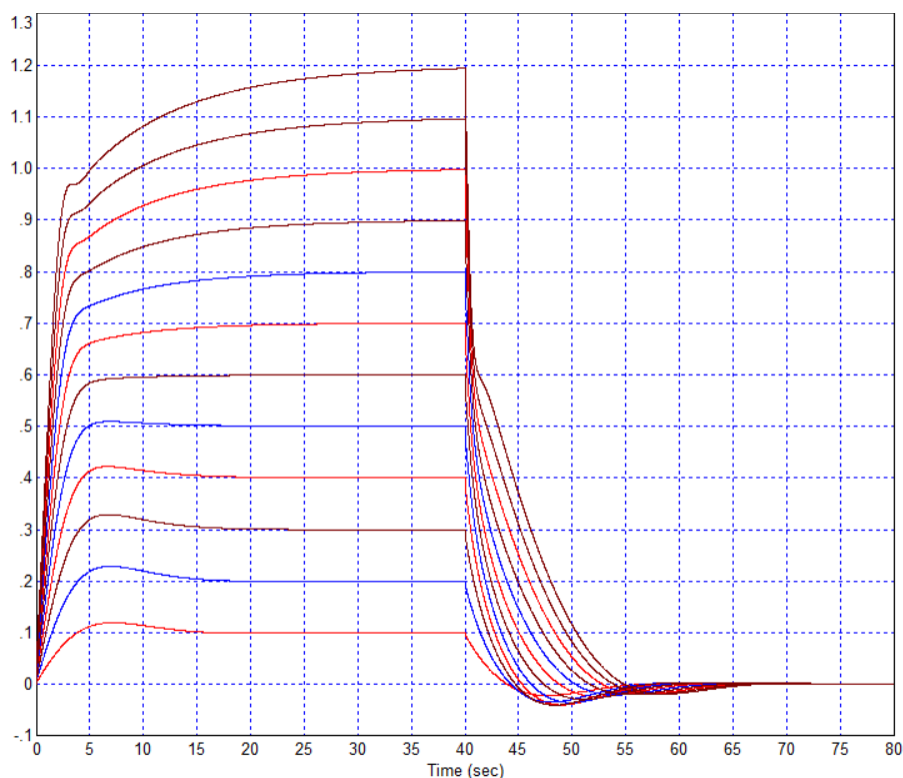


Рис. 10. Семейство переходных процессов при скачках на входе с амплитудой от 0,1 до 1,2 с шагом 0,1

Как видим, уменьшение амплитуды входного сигнала не изменяет переходный процесс катастрофически. Таким образом, амплитуда сигнала изменяется в 60 раз. Дальнейшее снижение амплитуды в область меньших значений возможно без ограничений. Это проверено экспериментально, это же самое можно было бы обосновать и теоретически, поскольку при малых сигналах нелинейная обратная связь очень резко ослабляется, пропорционально квадрату уменьшения амплитуды. С увеличением амплитуды всё намного сложнее, поскольку положительная обратная связь не

только убывает пропорционально квадрату амплитуды, но и возрастает пропорционально квадрату амплитуды. Если амплитуда не превышает 1,4 единицы, процесс остается устойчивым. При амплитуде, равной 1,6, переходный процесс начинает раскачиваться ещё до достижения равновесного состояния, в дальнейшем амплитуда возрастает, если бы не было обратного скачка, то амплитуда возрастала бы и дальше. По этой причине необходимо исследовать также и процесс при скачке, равном 1,5 единицы. Для проверки достаточно увеличить время моделирования, устранив

обратный скачок. Моделирование показывает, что в этом случае постепенно развиваются

колебания, то есть такой переходный процесс тоже неустойчивый, как показано на Рис. 14.

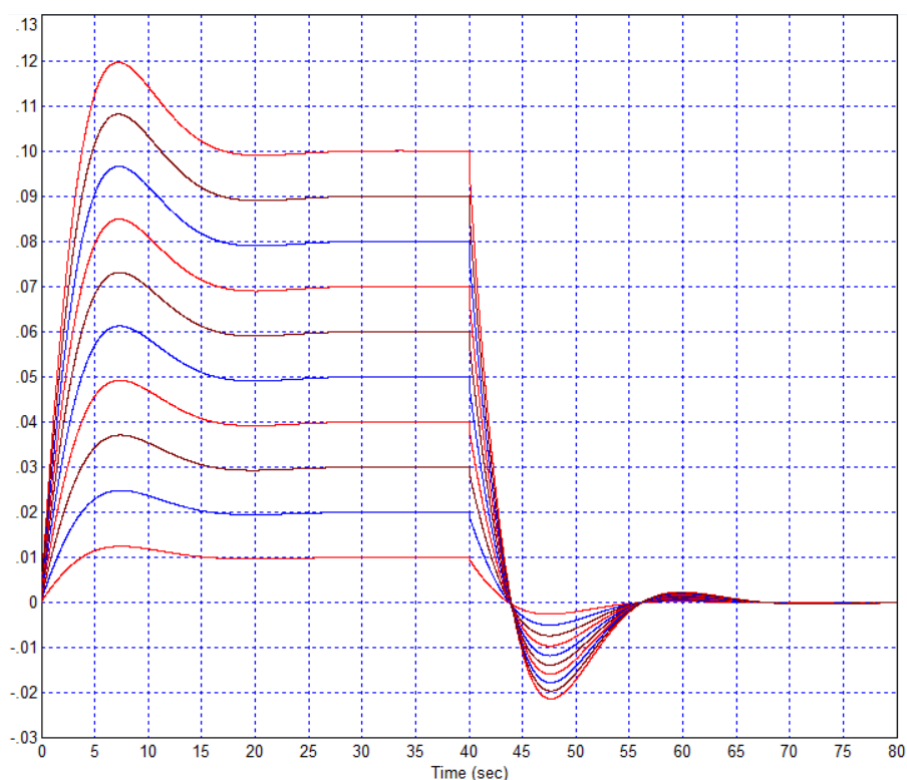


Рис. 11. Семейство переходных процессов при скачках на входе с амплитудой от 0,01 до 0,1 с шагом 0,01

При амплитуде скачка в 1,45 единиц переходный процесс остается стабильным даже на интервале в 200 с, но при скачке в 1,46 единиц на этом интервале уже можно при укрупненном рассмотрении графика заметить начало развития колебательного процесса, а при амплитуде 1,47 единиц это колебание уже по истечении времени 100 с становится заметным, а далее оно уже очевидно. Поэтому целесообразно проверить, насколько можно доверять предположению о том, что при скачке в 1,4 единицы система остается устойчивой не только на протяжении того времени, когда осуществлялось моделирование, а в принципе, «навсегда». Мы промоделировали процесс на интервале до 2000 с, склонности к колебаниям не выявлено. Кроме того, мы округлили все коэффициенты регулятора до трех значащих цифр, а после этого

– всего лишь до двух значащих цифр. Это также не вызвало колебаний в процессе. Это доказывает, что рассчитанный регулятор для входных сигналов в указанном диапазоне является достаточно грубым, даже чрезмерно, поскольку две значащих цифры в коэффициентах регулятора – это весьма грубое округление, оставить три значащих цифры вполне было бы оправданным. Далее мы попробовали увеличить коэффициенты регулятора на 10%, переходный процесс почти не изменился, затем мы уменьшили коэффициенты на 10%, переходный процесс стал неустойчивым. Следовательно, коэффициенты рассчитаны обоснованно, соблюдать результат расчета при реализации регуляторов необходимо с погрешностью не более 1% необходимо, рекомендуется с погрешностью не более 0,2%.

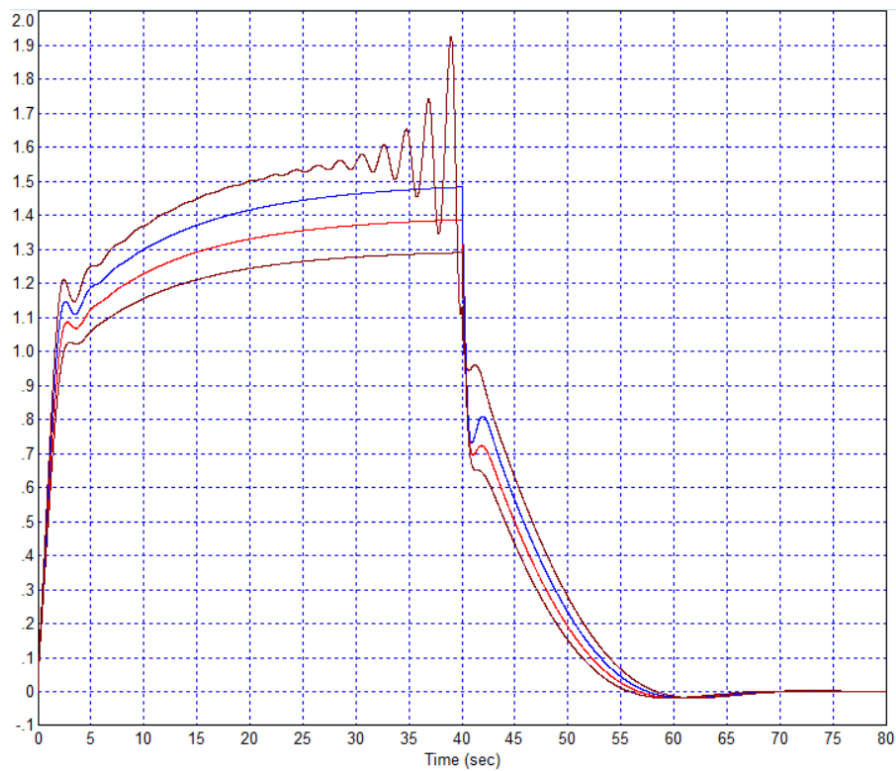


Рис. 15. Переходные процессы при амплитудах входного сигнала, равных 1,3; 1,4; 1,5 и 1,46

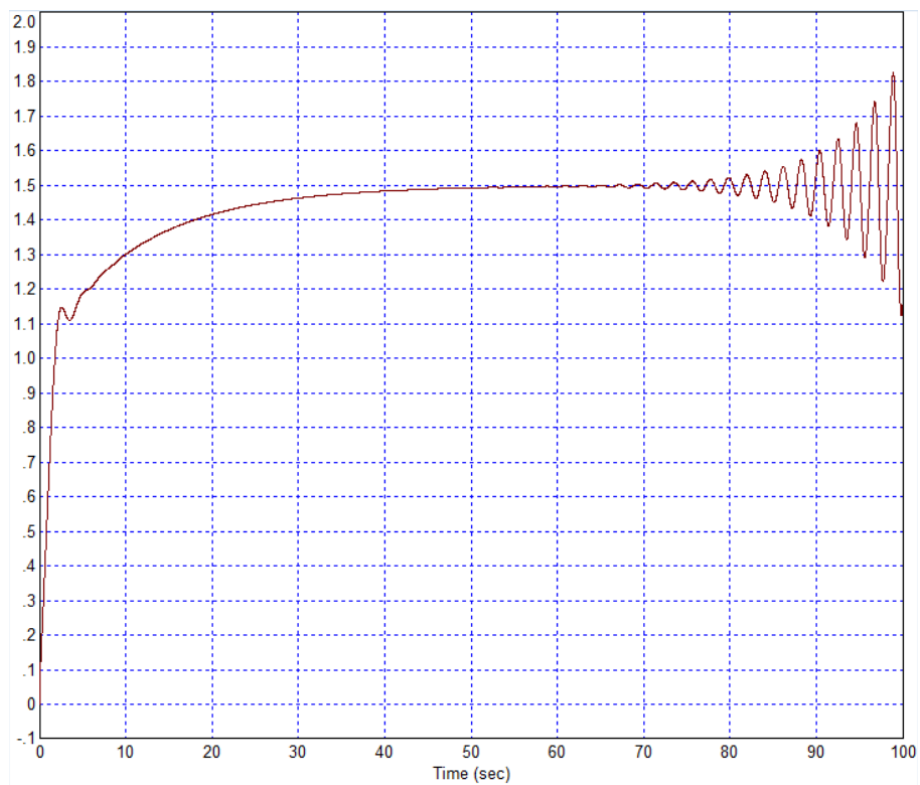


Рис. 15. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала, равной 1,45 на увеличенном интервале моделирования

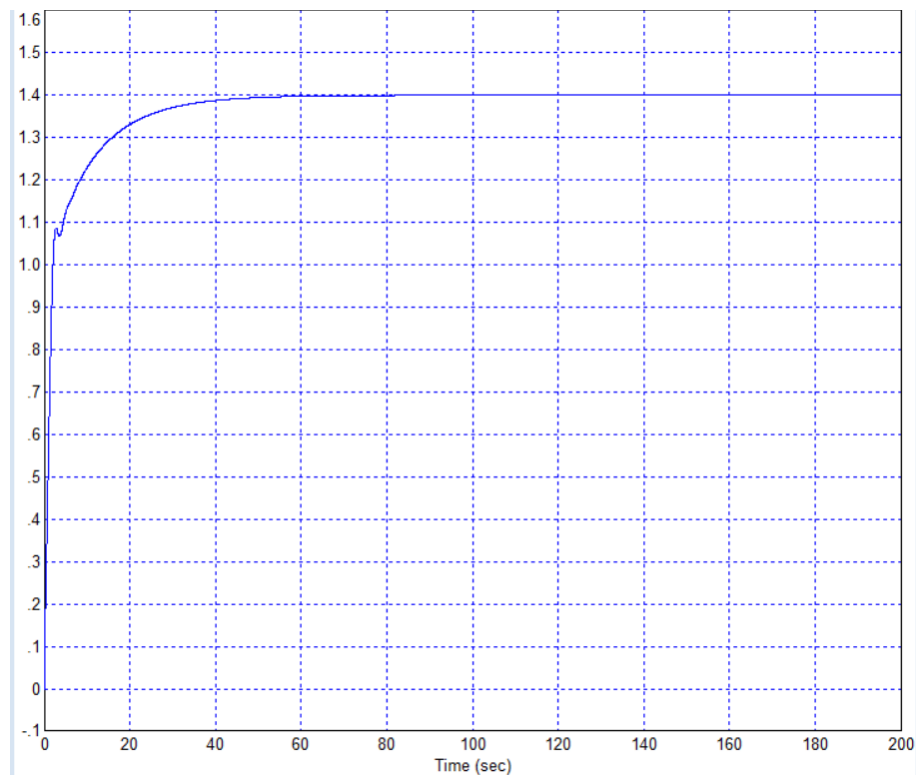


Рис. 16. Переходные процессы при амплитуде входного сигнала, равной 1,4 на увеличенном интервале моделирования

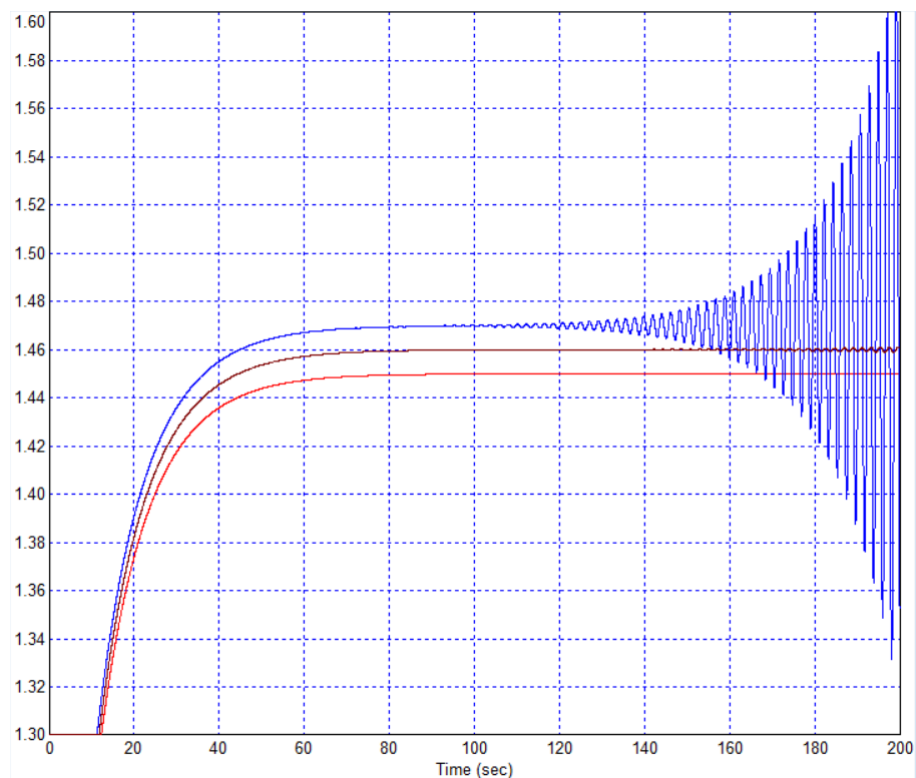


Рис. 15. Переходные процессы при амплитудах входного сигнала, равных 1,45; 1,46 и 1,47

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Полученные переходные процессы демонстрируют, что качество скачков при нарастании

входного сигнала и при снижении его обратно к нулевому значению характеризуется не совпадающим по характеристикам набором параметров качества. Тем не менее, в диапазоне входных



сигналов от 0,01 до 1,4 качество переходных процессов вполне приемлемое.

Данная статья предлагает метод проектирования регулятора в том случае, когда обычная процедура численной оптимизации не приводила к успеху, но итеративная процедура, начиная с более простой задачи, с использованием результата в качестве набора стартовых значений для более сложной задачи, позволило успешно применить метод численной оптимизации и получить эффективный последовательный ПИД-регулятор.

Статья продемонстрировала, насколько важна верификация и валидация полученных результатов путем получения семейства важнейших откликов при различных вариантах входных сигналов: требуется изменять амплитуду, проверяя переходный процесс, кроме того, для того, чтобы убедиться, что процесс является глобально устойчивым, рекомендуется в сомнительных случаях существенно (в десять и более раз) увеличивать время моделирования, а также в качестве альтернативы можно рекомендовать изменение коэффициентов рассчитанного регулятора на величину  $\pm 0,1\%$  – обязательно, а также на величину  $\pm 1\%$  – желательно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Асет, М.Е. Мансурова, В.А. Жмудь. Управление нелинейным объектом со многими нелинейными обратными связями. Автоматика и программная инженерия. 2022. 2 (40). С. 70–86.
- [2] В.А. Жмудь. Тестирование регуляторов по методу локализации на их эффективность. Автоматика и программная инженерия. 2022. 2 (40). С. 56–70.
- [3] Жмудь В. А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления: учеб. пособие для академического бакалавриата / В. А. Жмудь. - 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2017. 126 с. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [4] Жмудь В. А. Системы автоматического управления высшей точности: учеб. пособие / В. А. Жмудь, А. В. Тайченачев. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2016. 133 с. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [5] Автоматизированное проектирование систем управления.: учеб. пособие / Новосибирск, 2012: учеб.-метод. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 72 с.
- [6] Жмудь В. А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического

управления в программе VisSim.: учеб. пособие / Новосиб. гос. техн. ин-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012.: учеб. пособие / В. А. Жмудь.: НГТУ, 2012. - 124 с.

- [7] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. - 126 p
- [8] Жмудь В. А. Численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim: новые структуры и методы: монография / В. А. Жмудь. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2016. - 252 с. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [9] Востриков А.С., Воевода А.А., Жмудь В.А. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2005. № 3 (21). С. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [10] Design of robust systems by means of the numerical optimization with harmonic changing of the model parameters. Zhmud V.A., Reva I.L., Dimitrov L.V. In book: Journal of Physics: Conference Series. 2017. С. 012185.
- [11] Zhmud' V.A Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. Avtometriya. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Вадим Жмудь** – заместитель директора АО «НИПС», доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН.

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



**Владим Михайлович Семибаламут** – Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы РАН, кандидат физико-математических наук.

E-mail: [wladim28@yandex.ru](mailto:wladim28@yandex.ru)

Статья получена 21.07.2022

## Design of PID-controller for Controlling a Non-Linear Plant with Positive Non-Linear Feedback

V.A. Zhmud<sup>1,2,3</sup>, V.M. Semibalamut<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Institute of Program Systems, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

*Abstract.* Annotation. The most difficult to control are non-linear objects, among them the most complex are objects with non-linear feedbacks, in this class of objects the most complex are those objects in which these non-linear feedbacks are positive. This means that each deviation from the equilibrium state in this object increases additionally due to the action of feedbacks, provoking an avalanche-like process of deviation from the equilibrium state with increasing speed. Such a process can develop to very large values, which are limited only by the physical possibilities of forming the maximum output deviation from equilibrium, which, when modeling or analytically calculating the output state, gives an infinitely increasing value. Some models of objects of this class can be so complex that the solution of the control problem can be carried out only by the most efficient of all known methods, which consists in creating pseudo-local stabilizing feedbacks in addition to the traditional PID controller. If we do not take into account this method, which can also have its drawbacks, and focus only on the traditional scheme of a sequential PID controller, then very little is known about the design methods for such a controller. The most effective method is numerical optimization in simulation, however, the first experiments with one of these simulation experiments ended in failure. This article reveals the reasons for this failure and proposes a method for overcoming this failure, the effectiveness of solving the problem in this way is confirmed by its successful solution.

*Key words:* automation, PID controller, control, nonlinear plant, numerical optimization, simulation, cost function

### REFERENCES

- [1] A. Aset, M.E. Mansurova, V.A. Zhmud. Control of a Non-Linear Plant with Many Non-Linear Feedbacks. *Automatics & Software Engineering*. 2022, N 2 (40). P.71–87.
- [2] V.A. Zhmud. Testing of Effectiveness of the Regulators by the Method of Localization. *Automatics & Software Engineering*. 2022, N 2 (40). P.55–69.
- [3] Zhmud V. A. Modelirovaniye zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya: ucheb. posobiye dlya akademicheskogo bakalavriata / V. A. Zhmud'. - 2-ye izd., ispr. i dop. - Moskva: Yurayt, 2017. 126 s. ISBN 978-5-534-03410-3.
- [4] Zhmud V. A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya vysshey tochnosti: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud', A. V. Taychenachev. – Novosibirsk.: Izd-vo NGU, 2016. 133 s. ISBN 978-5-4437-0603-0.
- [5] Avtomatizirovannoye proyektirovaniye sistem upravleniya.: ucheb. posobiye / Novosibirsk, 2012: ucheb. - metod. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 72 s.
- [6] Zhmud V. A. Modelirovaniye i chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim.: ucheb. posobiye / Novosib. gos. tekhn. in-t. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2012.: ucheb. posobiye / V. A. Zhmud': NGTU, 2012. – 124 s.
- [7] Zhmud V. A. Designing of the precision automatic control systems: monograph / V. A. Zhmud, L. Dimitrov. - Novosibirsk: KANT, 2017. – 126 p
- [8] Zhmud V. A. Chislennaya optimizatsiya zamknutykh sistem avtomaticheskogo upravleniya v programme VisSim: novyye struktury i metody: monografiya / V. A. Zhmud. – Novosibirsk.: Izd-vo NGTU, 2016. - 252 s. ISBN 978-5-7782-3062-7.
- [9] Vostrikov A.S., Voyevoda A.A., Zhmud' V.A. Effekt ponizheniya porjadka sistemy pri upravlenii po metodu razdeleniya dvizheniy. *Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005. № 3 (21). S. 3-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17425168>
- [10] Design of robust systems by means of the numerical optimization with harmonic changing of the model parameters. Zhmud V.A., Reva I.L., Dimitrov L.V. В сборнике: *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. С. 012185.
- [11] Zhmud' V.A Motions separation method for disturbances suppression in laser systems. *Avtometriya*. 2002. Т. 38. № 5. С. 119-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14965898>



**Vadim Zhmud** – Vice-Head of NIPS, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, ILP SB RAS, Senior Researcher, Altai-Sayan Branch, Geophysical Survey RAS.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)



**Vladimir Semibalamut** – Altai-Sayan Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, PhD.  
E-mail: [vladim28@yandex.ru](mailto:vladim28@yandex.ru)

The paper has been received on 21/07/2022.

## Московский семинар по электронным и сетевым технологиям MWENT-2022

О.В. Стукач

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия  
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*Аннотация.* Рассмотрены результаты проведённого в г. Москве на базе АО "ЭНПО СПЭЛС" III Московского семинара по электронным и сетевым технологиям (*Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT-2022*). Семинар регулярно организуется Московским институтом электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» и Томской группой Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике Института IEEE для того, чтобы поддерживать специализированные дискуссии и взаимодействие среди учёных и инженеров, работающих в области микроэлектроники и схмотехники, развивать сотрудничество через участие в деятельности профессиональных сообществ IEEE. Показана важность профессиональных встреч в области электронных приборов и радиоэлектроники, и расширения взаимодействия между бизнесом и университетскими разработчиками. Даётся информация о новом сервисе Института IEEE. Обсуждаются дополнительные возможности постоянного профессионального общения в рамках Общества электронных приборов, научных групп и других подразделений IEEE.

*Ключевые слова:* Профессиональная встреча, научная публикация, конференция, профессиональная сеть, цитируемость, электронные приборы, реферативная база.

Третий Московский семинар по электронным и сетевым технологиям (*Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT-2022*) был проведён 9–11 июня 2022 г. в АО "ЭНПО СПЭЛС" в г. Москве. Организаторами семинара выступили Общество электронных приборов (ED-S) Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике IEEE и Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" в год 30-летия ВШЭ.

Общество электронных приборов ED-S IEEE является нефинансовым техническим спонсором семинара с прошлого мероприятия [1]. В организации активного участие принимала компания «Профконференции», давшая консультативную поддержку и обеспечение финансовых взаимоотношений с участниками. Информационным спонсором является журнал «Автоматика и программная инженерия».

Количество поданных заявок существенно уменьшилось по сравнению с прошлым мероприятием [2–3]. Но качество поданного материала было практически отличным, и это вынудило рецензентов отклонить только четыре статьи с явным плагиатом. Всего было подано 86 заявок, и после двойного рецензирования 82 работы было принято для устной презентации на 14 заседаниях двух треков. Семинар был бы более масштабным, но организаторы стремились сделать его профессионально более полезным, чем создание массовки. В числе принятых докладов были работы, находящиеся не слишком далеко, но и не близко с главным направлением семинара. Это всегда удручает Научный программный

комитет, так как противоречит идее узкоспециализированности собрания, а Институт IEEE на соответствие материалов тематике встреч обращает внимание. Нас оправдывает то, что таких докладов было не очень много, не более 5 % общего числа.



Секционное заседание

Поскольку семинар проходил в Москве, большинство участников было из вузов и предприятий столицы и её дельта-окрестности. Иностранцы доклады участвовали в семинаре в режиме вебинара благодаря организованной трансляции. В отличие от большинства мероприятий IEEE, посещение мероприятий MWENT бесплатно для слушателей без доклада. Но этим воспользовались немногие местные желающие. Оргкомитет надеется на увеличение активности в будущем. В числе онлайн-докладчиков были и российские участники,



которые не смогли присутствовать очно. Их процент был не очень большим: из-за прошедших первых пяти актов вирусной пандемии с интермеццо на казанскую конференцию *SIBCON* народ соскучился по очным профессиональным встречам [4]. Здесь надо отметить, что все профессиональные организаторы ожидают оживлённые дискуссии на заседаниях, а не пустые помещения. К сожалению, географическая обездоленность страны и её транспортная связность, слитая с конскими налогами, ценами на еду и перевозки заставляют индивидуально подходить к участникам, которые не могут приехать. Это неизбежно приводит к полупустым аудиториям, что иной раз наблюдалось во второй день семинара.

Семинар проводился в бизнес-центре на площадке ЭНПО «СПЭЛС», поэтому новых участников таких мероприятий, как *MWENT* и *SIBCON* было подавляющее большинство [5]. Непрерывное расширение аудитории *MWENT* особенно важно, а проведение международного мероприятия с техническим спонсорством Института *IEEE* в разных местах способствует дополнительной рекламе исследований.

Благодаря ЭНПО «СПЭЛС» как главному организатору тематика *MWENT* была насыщена секциями по тестированию электронных устройств, цепям и системам, обеспечению надёжности электронных компонентов и устройств. Доклады по этим направлениям обеспечили половину программы семинара. «СПЭЛС» всегда интересовался передовыми разработками, активно проводит исследовательскую работу в области тестирования электронных устройств, издаёт свой журнал «Безопасность информационных технологий».

Как и в прошлые годы, наблюдается интерес к моделированию СБИС, созданию и совершенствованию библиотек электронных компонентов [6]. Существует очевидный запрос на создание собственной отечественной системы моделирования электронных устройств. Эта задача давно стала проблемой, решить которую в ближайшие годы не удастся. Но всё же главная цель *MWENT* всегда состоит в том, чтобы собрать исследователей, работающих над практическими задачами, представить современное состояние теории и практики работы в области электронных приборов [7].

Через неделю после семинара сборник трудов был опубликован в виде полных статей на английском языке в научной базе *IEEE Xplore*. Сборник был роздан участникам в комплектах семинара на USB носителе. С полными текстами статей можно ознакомиться на сайте *IEEE Xplore* <https://drive.google.com/drive/folders/1BwtX0isAfr4a8Aw2m4GBEX1T411kpDHk?usp=sharing>. Мы наблюдаем, что число загрузок с *IEEE Xplore* медленно, но верно увеличивается. Нам всегда интересна и важна статистика скачивания материалов семинара *MWENT* с *IEEE Xplore*,

цитирование и упоминание в информационных материалах, поскольку это свидетельствует об интересе к мероприятию.

Помимо насыщенной научно-технической программы докладчики участвовали в технической экскурсии, где им было рассказано о работах компании «СПЭЛС».



Экскурсия

Интерес к конференциям Томской группы *IEEE* постепенно привёл к тому, что каждый год она проводит хотя бы одну значимую профессиональную встречу. Мероприятия рекламируются по рассылке «Сибирская секция *IEEE*» <http://subscribe.ru/catalog/tech.siberia> и через сеть для членов *IEEE Collabratec* <https://ieeecollabratec.ieee.org>. Для получения своевременной информации следует подписаться на соответствующие рассылки по электронной почте. Для участия в работе *IEEE Collabratec*, конечно, требуется быть членом Института. Стоит отметить, что его сервис год от года расширяется, появляются новые журналы превосходного качества, нарастает число конференций под эгидой *IEEE*, в базе *IEEE Xplore* появляется почти полмиллиона статей в год.

Согласно отчёту о работе *IEEE* за 2021 год,

- 409654 члена в Институте;
- 153177 членов в США;
- 59710 членов в Индии;
- 35164 члена в Китае;
- 14179 членов в Канаде;
- 13753 члена в Иране;
- 125989 студентов *IEEE*;
- 41008 студентов *IEEE* в Индии;
- 19888 студентов *IEEE* в США;
- 14213 студентов *IEEE* в Китае;
- 4793 студента *IEEE* в Тунисе;
- 2799 студентов *IEEE* в Канаде;
- 1899 спонсируемых конференций в 103 странах;
- Более 572000 участников конференций;
- 5528965 документов в *IEEE Xplore*;
- 232164917 скачиваний статей с *IEEE Xplore*;

- 131 стандарт, одобренный для опубликования из более чем 1100 действующих;

- 10 географических регионов;
- 342 секции;
- 2562 чаптера (групп);
- 3485 студенческих отделений;
- 347997 членов *IEEE* принадлежат одному или нескольким обществам.

Для мобильных устройств разработано Приложение *IEEE*. Оно предоставляет пользователям доступ к ресурсам Института – надёжной информации для инженерной, вычислительной и технологической деятельности всего мира. Организаторы конференций и мероприятий могут использовать приложение, чтобы люди могли найти конференцию, отличный контент и оставаться в курсе последних новостей.

Приложение *IEEE* даёт возможность взаимодействовать со всеми сервисами *IEEE*. Независимо от того, являетесь ли вы руководителем *IEEE*, волонтером или участником, приложение можно персонализировать, позволяя видеть, читать и выбирать материалы, участвовать и подключаться ко всем сервисам *IEEE*. На конференции участники могут использовать приложение *IEEE* для проведения виртуальных встреч, оставаться на связи во время и после.

Когда информация о конференции или мероприятии вносится в базу конференций, она будет автоматически добавлена в приложение *IEEE*. Приложение *IEEE* позволяет пользователям:

- 🔗 создать персонализированный опыт;
- 🔗 получать географические и основанные на интересах рекомендации;
- 🔗 сделать расписание, управлять или присоединиться к встречам;
- 🔗 читать и загружать свои журналы *IEEE*;
- 🔗 искать и находить виртуальные мероприятия и конференции;
- 🔗 быть в курсе последних новостей по темам, связанным с технологиями *IEEE*;
- 🔗 читать и скачивать журналы *IEEE*;
- 🔗 найти коллег из *IEEE* по местоположению, интересам и аффилиации.

Институт *IEEE* поддерживает *TechRxiv* – это бесплатный сервер препринтов для неопубликованных исследований в электротехнике, информатике и родственных технологиях. *TechRxiv* предоставляет исследователям возможность поделиться первыми результатами их работы перед официальным рецензированием и публикацией.

Его преимущества:

- 🔗 оперативное распространение результатов своих исследований;
- 🔗 получение отзывов от коллег;
- 🔗 поиск потенциальных соавторов в научном сообществе;
- 🔗 установление приоритета;
- 🔗 документирование результатов исследований до публикации.

*IEEE DataPort* <https://iee-dataport.org/> – это платформа, на которую исследователи могут загружать свои наборы данных и получать дополнительные ссылки для своих ценных исследований. Обмен исследовательскими данными имеет решающее значение для научных инноваций, ускорения исследований и воспроизводимости. *IEEE* стремится поддерживать потребности исследовательского сообщества в совместном использовании данных и разработал *IEEE DataPort* в качестве решения для исследователей в различных дисциплинах, позволяющего им хранить, обмениваться, получать доступ и управлять своими исследовательскими данными.

Наборы данных, доступные в *IEEE DataPort* и используемые другими, конечно, должны цитироваться, тем самым отдавая должное первоначальному владельцу набора данных. *DataPort* и *IEEE* внедрил функцию цитирования в *IEEE DataPort* для обеспечения надлежащего цитирования. Кнопка «цитировать» на каждой странице набора данных предоставляет ссылки в нескольких форматах, чтобы любому пользователю было легко правильно цитировать набор данных, используемый в рукописи или исследовательской работе.

Автор этой статьи опубликовал два набора данных, успешно собирающих просмотры и ссылки [8–9].

Одним из важных критериев научного метода является воспроизводимость результатов. Сервис *DataPort* даёт возможность любому исследователю повторить результаты автора статьи по первоначальным данным и тем самым подтвердить достоверность проведённой работы.

Семинар *MWENT* использует простую стратегию *IEEE* по повышению вовлечённости участников за счёт заблаговременного предложения контента на раннем этапе конференции в виде предварительной редакции сборника трудов. Эта стратегия помогает добиться максимального эффекта от мероприятия. Крупнейшие конференции *IEEE*, такие как *IMBioC*, *ISGT*, *CICC* и другие сделали предварительно записанные видеопрезентации участников доступными за две недели до начала мероприятия. Всё это даёт возможность изучить как можно больше докладов, способствует инновациям, позволяя участникам размышлять над материалами перед мероприятием, способствует пониманию доклада на секции, позволяет участникам заранее подготовиться к сессиям, способствует более вдумчивому и содержательному обсуждению, повышает ценность семинара для авторов, предлагая более содержательное взаимодействие с более широким кругом участников.





Фуршет

В заключение стоит поблагодарить общество электронных приборов IEEE за техническое спонсирование мероприятия, команду IEEE MCE (Meetings, Conferences, and Events), которая обеспечила быстрое опубликование сборника трудов и индексацию его в IEEE Xplore [6]. Особенная благодарность адресуется главному организатору Леониду Николаевичу Кессаринскому, к.т.н., заместителю директора АИЦ ИБСЗИ НИЯУ МИФИ.

Нас неизменно интересует вовлечение в развитие профессиональной деятельности в области микроэлектроники и схемотехники новых и активных участников, широкий охват перспективных направлений, постоянное движение вперед. Поэтому организаторы семинара постоянно работают над изменением тематики заседаний и расширением географии.

Москва – отличный город, стремительно прирастающий новыми точками притяжения, торговыми центрами, парками, памятниками и местами отдыха. Москва имеет хорошие перспективы для научного туризма и получения технических знаний на профессиональных встречах. Но наш интерес простирается дальше научного туризма, это любознательность и взаимное обсуждение событий и мнений с технологической, культурной и исторической перспективой. Все эти аспекты были одинаково важны участникам и сделали программу семинара особенно своеобразной.

Мы уверены, что Московский семинар по электронным и сетевым технологиям и в дальнейшем позволит обогатить научно-техническое сообщество новыми идеями и полезными взаимовыгодными контактами. Семинар MWENT – хорошая платформа для установления личных контактов и прямого информационного обмена. Как правило, участники находят пути решения текущих проблем во время сессий и устанавливают ценные контакты, чему способствует оптимальная численность и сроки. В этом и состоит его реальная ценность.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stukach O. ED/COM/AP/MTT/EMC Tomsk Chapter. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT) // IEEE Electron Devices Society Newsletter. – 2018. – V. 25. – № 3. – P. 29–30. – ISSN 1074 1879. – <https://eds.ieee.org/publications/eds-newsletter>.
- [2] Petrosyants K.O., Stukach O.V. Welcome to the 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies / 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), 14–16 March, Moscow, Russia. – ISBN: 978-1-5386-3498-1. – DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337166.
- [3] Stukach O., Ivanov I. Welcome to the 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies / 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, (MWENT), 11–13 March 2020, Moscow, Russia. – DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067354..
- [4] Магид Е.А., Стукач О.В. Международная Сибирская конференция по управлению и связи SIBCON-2021 // Автоматика и программная инженерия. – 2021. – № 3(37). – С. 36–42.
- [5] Стукач О.В., Иванов И.А. Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи SIBCON-2016 // Автоматика и программная инженерия. – № 2(16). – 2016. – С. 99–104. – ISSN 2312-4997.
- [6] Stukach O. ED/AP/MTT/COM/EMC Tomsk Chapter. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT 2020 // IEEE Electron Devices Society Newsletter. – 2020. – V. 27. – № 3. – P. 29–30. – ISSN 1074 1879..
- [7] Stukach O.V. ED/AP/MTT/COM/EMC Tomsk Joint Chapter. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT 2020 // IEEE Electron Devices Society Newsletter. – 2021. – V. 28. – № 3. – P. 44. – ISSN 1074 1879.
- [8] Zorin P., Stukach O. Data of heating meters from residential buildings in Tomsk (Russia) for statistical modeling of the thermal characteristics of buildings // IEEE Dataport. – 2020. – [Online]. – Available: <http://dx.doi.org/10.21227/3r4e-ch18>. – <http://ieeedataport.org/2301>.
- [9] Zorin P., Stukach O. Long-Term Data from the Heat Meters in Residential Buildings Depending on the Outside Temperature and Characteristics of Buildings // IEEE Dataport. – April 13, 2021. – Doi: 10.21227/cw53-rr81. – <http://ieeedataport.org/4034>.



**Стукач Олег Владимирович** – доктор технических наук, профессор Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» и Новосибирского государственного технического университета, основатель Томской группы Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике IEEE.

E-mail: [tomsk@ieee.org](mailto:tomsk@ieee.org)

Статья поступила 30.06.2022

## Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT-2022

O.V. Stukach

National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russia  
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*Abstract:* Main contributions of III Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT-2022 based on "R&D SPELS" are considered. The seminar will be regularly organized by the A.N. Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics and Tomsk Chapter of the Institute of Electrical and Electronics Engineers for support a specialized discussions and interaction among scientists and the engineers working in microelectronics and networks, to establish cooperation among participants by activities of the IEEE professional communities. Importance of professional events in the field of electron devices and electronics and interaction expansion between business and university designers are shown. The information on new IEEE service is given. Additional possibilities of continue professional dialogue within the frameworks of the IEEE Electron Devices Society, chapters and other IEEE units are discussed.

*Key words:* professional events, scientific publication, conference, professional networking, science metrics, electron device, scientific database.

### REFERENCES

- [1] Oleg Stukach, "ED/COM/AP/MTT/EMC Tomsk Chapter". Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). IEEE Electron Devices Society Newsletter, 2018, vol. 25, No 3 (July), p. 29-30, ISSN 1074 1879, <https://eds.ieee.org/publications/eds-newsletter>.
- [2] K.O. Petrosyants, O.V. Stukach. "Welcome to the 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies", 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), 14–16 March, Moscow, Russia, ISBN: 978-1-5386-3498-1, DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337166.
- [3] Stukach O., Ivanov I., "Welcome to the 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies". 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, (MWENT), 11-13 March 2020, Moscow, Russia, DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067354..
- [4] E.A. Magid, O.V. Stukach, "International IEEE-Siberian Conference on Control and Communications SIBCON-2021", Automatics & Software Engineering, 2021, no. 3(37), p. 36-42.
- [5] O.V. Stukach, I.A. Ivanov, "International IEEE-Siberian Conference on Control and Communications SIBCON-2016", Automatics & Software Engineering, No 2(16), 2016, p. 99–104, ISSN 2312-4997.
- [6] Oleg Stukach, "ED/AP/MTT/COM/EMC Tomsk Chapter. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT 2020", IEEE Electron Devices Society Newsletter, 2020, vol. 27, No 3 (July), p. 29–30, ISSN 1074 1879..
- [7] O.V. Stukach, "ED/AP/MTT/COM/EMC Tomsk Joint Chapter. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT 2020", IEEE Electron Devices Society Newsletter, 2021, vol. 28, No 3 (July), p. 44. ISSN 1074 1879.
- [8] Pavel Zorin, Oleg Stukach, "Data of heating meters from residential buildings in Tomsk (Russia) for statistical modeling of the thermal characteristics of buildings", IEEE Dataport, 2020 [Online], doi 10.21227/3r4e-ch18, <http://iee-dataport.org/2301>.
- [9] Oleg Stukach, Pavel Zorin, "Long-Term Data from the Heat Meters in Residential Buildings Depending on the Outside Temperature and Characteristics of Buildings", IEEE Dataport, April 13, 2021, doi: 10.21227/cw53-rr81, <http://iee-dataport.org/4034>.



**Stukach Oleg V.** is the founder of the Tomsk IEEE Chapter, Dr. of Sci., Professor of Moscow Institute Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics and Novosibirsk State Technical University. E-mail: [tomsk@ieee.org](mailto:tomsk@ieee.org).

The paper has been received on 30/06/2022

# XVI Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи

17–19 ноября 2022 г.

г. Томск, Россия

<https://sibcon.tusur.ru>

Главная конференция Томской группы IEEE №56144

## ОРГАНИЗАТОРЫ

- Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
- Томская группа Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (*IEEE*)

## СПОНСОРЫ

- ТУСУР
- Общество электронных приборов (*IEEE ED-S*)
- *Keysight Technologies* (ООО «Кейсайт Текнолоджиз»)
- АО «Научно-производственная фирма «Микран»
- ООО «Системы. Технологии. Коммуникации»
- Томская группа *IEEE*
- Сибирская секция Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике *IEEE*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

- Журнал «Автоматика и программная инженерия», [www.jurnal.nips.ru](http://www.jurnal.nips.ru)
- Журнал «Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии», [journal.asu.ru/hpcst](http://journal.asu.ru/hpcst)
- Журнал «Доклады ТУСУР», [journal.tusur.ru](http://journal.tusur.ru)  
Конференция *SIBCON* регулярно организуется Томской группой Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (*IEEE*) и Обществом электронных приборов (*IEEE ED-S*) для того, чтобы поддерживать междисциплинарные дискуссии, взаимодействие и сотрудничество через участие в деятельности профессиональных сообществ Института *IEEE*. Конференция предоставляет учёным возможность презентации своих докладов и установления научных и образовательных контактов с коллегами из России и других стран. Программа конференции предусматривает заседания секций с устными докладами, специальные заседания, краткие курсы и культурную программу.

## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Фундаментальные проблемы теории управления и связи
- Электронное приборостроение, микроэлектроника и радиотехника
- Информационные технологии, кибербезопасность и киберфизические системы

## ВАЖНЫЕ ДАТЫ

**20 сентября** — последний срок приёма статей

**20 октября** — уведомление о включении докладов в программу

**31 октября** — регистрация участников и подача готовых к публикации статей

Доклады принимаются в электронной форме в виде одного *DOC* или *PDF* файла на сайте конференции [sibcon.tusur.ru](http://sibcon.tusur.ru) через личный кабинет.

Участники присылают статьи на английском языке, описывающие новые результаты их научных исследований, оригинальные идеи и предложения по практическому использованию результатов по актуальным темам. **Каждый участник может быть соавтором не более двух работ.** Статьи должны содержать заглавие, имена авторов, полный адрес, аннотацию, ключевые слова, введение (состояние вопроса), постановку задачи и цели, описание предмета исследования, достигнутые результаты и перспективы их дальнейшего использования, не менее 15 ссылок на индексируемые публикации, среди которых присутствует не более 20 % ссылок на авторов статьи.

**Объём статьи** – от четырёх до шести страниц формата А4. Для вёрстки необходимо пользоваться шаблоном *IEEE*, размещённом на сайте конференции. Отбор статей проводится научным программным комитетом на основе результатов одинарного слепого рецензирования и проверки на антиплагиат. Подача доклада подразумевает готовность хотя бы одного из авторов принятых работ зарегистрироваться в срок до окончания регистрации и представить свой доклад на конференции.

## ПОДГОТОВКА СТАТЕЙ

Информация о регистрации, инструкции для подготовки статей, научная программа будут доступны на сайте конференции и высланы авторам.

## ОПУБЛИКОВАНИЕ ДОКЛАДОВ

Труды конференции *SIBCON-2022* в виде полных статей будут распространены среди

участников конференции, опубликованы в базе электронных публикаций *IEEE Xplore* и представлены к индексации в *Web of Science* и *Scopus*.

#### **СПЕЦИАЛЬНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**

В рамках конференции *SIBCON-2022* будет проведено специальное заседание на тему «Приборное обеспечение генетических технологий».

#### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Оргкомитет принимает предложения о проведении кратких курсов, специальных заседаний и мастер-классов по тематике конференции. Предложения принимаются до 20 сентября 2022 г.

#### **МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ**

Томск – старейший в Сибири крупный образовательный, научный и инновационный центр, основанный в 1604 году. Сегодня в Томске проживает более 620 тысяч человек. При этом каждый восьмой житель города – студент. Томск – негласная студенческая столица России. В международном рейтинге *QS Best Student Cities* он уступает только Москве и Санкт-Петербургу. Но в отличие от них, Томск – очень компактный уютный город, в котором созданы комфортные условия для жизни. Главный проспект Томска можно смело переименовывать в Университетский. Начиная от въезда в город со стороны Лагерного сада на несколько километров вдоль него тянутся корпуса, библиотеки и общежития университетов города. В шаговой доступности от них расположились тенистые скверы и разнообразие кафе, театры и музеи.

ТУСУР – самый молодой из томских университетов, основанный в 1962 году. Созданный во времена прорыва в космос,

бурного развития электронно-вычислительной техники, новых средств связи и радиоэлектроники вуз с первых лет своего существования находился на острие научно-технического прогресса. ТУСУР – это лидер в сфере подготовки квалифицированных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики, внедрения инновационных образовательных и исследовательских программ, прикладных разработок новой техники, аппаратуры и систем управления.

Более подробную информацию о ТУСУРе можно найти на сайте [tusur.ru](http://tusur.ru).

**Адрес места проведения:** Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), пр. Ленина, 40, г. Томск, Россия.

#### **ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

##### **Председатель**

Рулевский Виктор Михайлович

Ректор ТУСУРа, д.т.н.

Е-mail: [rector@tusur.ru](mailto:rector@tusur.ru)

Зам. председателя

Лоцилов Антон Геннадьевич

Проректор по НРИИ, к.т.н.

Е-mail: [lag@main.tusur.ru](mailto:lag@main.tusur.ru)

Программные сопредседатели

А.В. Медовник, О.В. Стукач, В.А. Фаерман

Секретарь оргкомитета

Ярымова Инна Александровна

Пр. Ленина, 40, Томск, Россия, 634050

Тел: 8 (3822) 701-582 (внутр. 1456)

Е-mail: [nirs@main.tusur.ru](mailto:nirs@main.tusur.ru)

Труды конференции и специальные заседания

Фаерман Владимир Андреевич

Е-mail: [fva@fb.tusur.ru](mailto:fva@fb.tusur.ru)

## **XVI International IEEE-Siberian Conference on Control and Communications**



## Пресс-релиз Ассоциации поддержки научных исследований



Ассоциация поддержки научных исследований

### Офис PR и внешних коммуникаций

Ассоциации поддержки научных исследований

Козерлыга Алексей Григорьевич, ведущий специалист.

Email: [press@conferences.science](mailto:press@conferences.science).

Тел.: +7 (3852) 23-00-82.

Адрес: 656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 75Б, оф. 44.

Вебсайт: [www.conferences.science](http://www.conferences.science).

г. Барнаул, Россия

### ATiC 2022 представит исследовательские проекты, посвященные основам промышленности 4.0.

6 июля состоялась [Всероссийская \(с международным участием\) научно-практическая конференция «Промышленность 4.0 в России: технологии, материалы, опыт внедрения» \(ATiC 2022\)](#), которая по решению оргкомитета проводилась в постерном формате.

Организаторами конференции выступали Ассоциация поддержки научных исследований, Ульяновский государственный технический университет, Тамбовский государственный технический университет, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова в партнерстве с ГК «ХАЛТЕК» и ООО «Ульяновский станкостроительный завод».

В рамках конференции были представлены исследовательские проекты, посвященные научно-технологическим основам промышленности 4.0, организационно-управленческим инструментам для ее инновационного развития, промышленному интернету вещей, перспективным информационным технологиям, промышленной робототехнике и автоматизации производства, аддитивным технологиям в промышленности, промышленным технологиям виртуальной и дополненной реальности.

«Такие научные форумы, как организуемый ATiC 2022, в целом для науки имеют важнейшее значение, соизмеримое с научными публикациями. Так, например, на определенных этапах фундаментальной физики научно-практические конференции и симпозиумы даже имели основополагающее значение, поскольку именно на них обсуждались особенно острые вопросы и принимались коллегиально решения, которые без такого рода форумов оставались бы в стадии дискуссионных гипотез на многие годы. Кроме того, такие научные мероприятия, как симпозиумы, конференции и форумы – это прекрасная возможность апробации собственных гипотез и ознакомления с чужим мнением, –

отмечает представитель оргкомитета ATiC 2022, заместитель генерального директора по науке Новосибирского института программных систем Вадим Аркадьевич Жмудь. – Именно сейчас, когда политики прилагают все усилия для раздела мира, ученые остаются единым сообществом, и продолжают не только сотрудничать на том же уровне, что и год назад, но и даже находят более выгодные варианты взаимодействия. Так, например, вследствие затруднения оплаты публикаций в высокорейтинговых изданиях по причине блокировки системы SWIFT, за последние полгода я получил уже четыре предложения об опубликовании моих статей бесплатно в журналах, входящих в высшие квартили по базам *Scopus* и *Web of Science*».

Организационный комитет ATiC 2022 возглавил директор Регионального технологического центра промышленного Интернета в машиностроении, профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» Ульяновского государственного технического университета, заслуженный работник Высшей школы РФ, д.т.н., профессор Евгений Степанович Киселев, а научный комитет – профессор кафедры технологии машиностроения Кузбасского государственного технического университета, д.т.н. Валерий Юрьевич Блюменштейн.

Напомним, что все принятые и представленные на конференции ATiC 2022 (стендовый (постерный) доклад) рукописи научных статей, с целью глобального распространения результатов передовых фундаментальных и прикладных



научных исследований, будут опубликованы в книжных сериях ведущих мировых издательских домов, а также проиндексированы в ведущих базах данных. Специально отобранные Организационным комитетом рукописи научных статей, представленные на конференции, будут отправлены на опубликование в высокорейтинговые научные журналы.

«В международном сообществе в последнее время возникает скептическое отношение к трудам конференций и даже к журналам, которые публикуют труды конференций оптом. Такое отношение связано с предположением, что рецензирование публикаций здесь осуществляется менее требовательно. Однако, несмотря на

иногда встречающиеся примеры нетребовательного рецензирования, это серьезное заблуждение. Поскольку существуют даже такие международные форумы, труды которых входят в первый (то есть высший) квартиль. Например, это периодический симпозиум сообщества по атомной физике и ускорителям и так далее», – подчеркивает В.А. Жмудь.

Информация о процедуре регистрации, условиях участия в конференции и сроках подачи и рассмотрения рукописей научных статей для презентации на конференции и публикации в материалах доступны на [сайте](#) Ассоциации поддержки научных исследований.

## Content

Common Information about the Journal A&SE (In Russian)	3
Common Information about the Journal A&SE (In English)	7
Virtual Science V.A. Zhmud	11
On Possible Causes of Incorrect Modeling of Locked Dynamical Systems V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy	39
Testing of Effectiveness of the Regulators by the Method of Localization V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy	56
Control of a Non-Linear Plant with Many Non-Linear Feedbacks A. Aset, M.E. Mansurova, V.A. Zhmud	71
Investigation of the Stability Margin of a Control System for a Nonlinear Plant with Many Nonlinear Feedbacks when the Parameters of its Model Change A. Aset	88
Unified field theory B.H. Rustemov	97
Derivation and Integration of Functions in a Complex Degree V.A. Zhmud	114
Design of PID-controller for Controlling a Non-Linear Plant with Positive Non-Linear Feedback V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut	126
Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT-2022 O.V. Stukach	138
XVI International IEEE-Siberian Conference on Control and Communications	143
Press release of the Association for the Promotion of Scientific Research	145
Content	147

ISSN 2312-4997



ISSN 2312-4997 for paper version  
 ISSN 2619-0028 for of English online pdf-version  
 ISSN 2618-7558 for electronic Russian pdf-version