

2

Апрель-июнь (86) 2019

16+

СОДЕРЖАНИЕ

Учредитель
Ульяновский
государственный
технический
университет

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Н. Г. Ярушкина

**Заместитель
главного
редактора**

В. Г. Тронин

**Редакционная
коллегия:**

К. К. Васильев
А. А. Дырдин
С. К. Киселёв
А. В. Кузнецов
В. К. Манжосов
Г. Л. Ривин
В. П. Табаков
Л. В. Худобин
Н. А. Евдокимова (отв.
секретарь)

Е. В. Аристова Н. Н. Тарасова	4	ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ Магистерские программы за рубежом
П. В. Стрелянская Г. М. Шигабетдинова	7	Современные методы обучения сотрудников на предприятии
Д. С. Выборнов	9	Организация обучения сотрудников строительной компании по применению в работе современных программных продуктов
Р. Р. Сайфутдинова	11	ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ Современные антологии: обзор издательских ошибок
Е.А. Исаева	14	Влияние родителей на воспитание детей
А. С. Равин	16	Влияние характера человека на организацию рабочего места
А. А. Земсков С. А. Кашкиров В. К. Манжосов	19	ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ Модель движения двух твёрдых тел при столкновении с преградой и односторонними связями
В. К. Манжосов А. А. Самсонов	25	Модель движения закреплённого стержня с диском при кручении и разрыве связи
А. В. Гладун П. А. Вельмисов	29	О построении управления колебаниями трубопровода
В. Е. Дементьев	38	ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ Использование модифицированного метода максимизации ожиданий для идентификации параметров дважды стохастической модели
О. В. Милашкина М. Цветков	43	ПРИБОРОСТРОЕНИЕ Проектирование и модернизация электросветотехнического оборудования аэродрома
В. Н. Шивринский	47	Сигнализатор числа М

		ЭНЕРГЕТИКА
Е. Н. Меньшов	51	Роль калибровки Лоренца в электродинамике
Д. С. Александров А. С. Калашников	55	Структурный метод расчёта токов замыкания в цепях выпрямительных установок
		ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
В. В. Кузнецов Р. А. Сайфутдинов И. С. Большухина	67	Управление развитием экономики в современных условиях
Е. В. Маркова А. М. Ф. Аль-Дарабсе	72	Влияние инноваций на экономический рост
Е. О. Денисова М. И. Кривенко Р. М. Кочеткова	74	Влияние воспроизводства населения на формирование трудовых ресурсов
	77	ХРОНИКА УНИВЕРСИТЕТА. КОНФЕРЕНЦИИ. ЮБИЛЕИ
	78	ABSTRACTS
	80	Правила оформления статей для журнала «Вестник УлГТУ»

**Адрес издателя
и редакции:**

✉ 432027, Россия,
г. Ульяновск,
ул. Северный Венец,
д. 32

☎ (8422) 43-06-43

<http://www.venec.ulstu.ru/lib/>

Журнал зарегистрирован
Государственным комите-
том Российской Федерации
по печати.

Свидетельство о регистра-
ции средства массовой ин-
формации №016797 от 14
ноября 1997 г.

Журнал включён в Россий-
ский индекс научного цити-
рования (РИНЦ).

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ – 0,247

Реферируется в ВИНИТИ
РАН.

Отпечатано в ИПК

«Венец» УлГТУ
432027, Россия,
г. Ульяновск,
ул. Северный Венец,
д. 32

Подписано в печать
24.06.2019.

Дата выхода в свет
28.06.2019.

Формат 60×90/8.

Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 10,00.

Тираж 150 экз.

Заказ №674.

Цена свободная.

CONTENTS

E. V. Aristova N. N. Tarasova	4	HIGHER EDUCATION PROBLEMS Master's programs abroad
P. V. Strenyavskaya G. M. Shigabetdinova	7	Modern methods of learning employees in enterprises
D. S. Vybornov	9	Organization of training of employees of a construction company for the application in the work of modern software products
R. R. Sayfutdinova	11	HUMANITIES Modern anthologies: review of publishers' errors
E. A. Isaeva	14	The influence of parents on the upbringing of children.
A. S. Ravin	16	Influence of character of the person on the organization of the workplace
A. A. Zemskov S. A. Kashkirov V. K. Manzhosov	19	NATURAL SCIENCES Model of motion of two solid bodies in collision with the barrier and unilateral communications
V. K. Manzhosov A. A. Samsonov	25	Model of motion of a clamped rod with a the disk under torsion and the communication break
A. V. Gladun P. A. Velmisov	29	On constructing control of pipeline vibration
V. E. Dementev	38	INFORMATION TECHNOLOGIES Using a modified method of maximizing expectations to identify the parameters of the double stochastic model
O. V. Milashkina M. Tsvetkov	43	INSTRUMENT ENGINEERING Design and modernization of aerodrome electrical lighting equipment
V. N. Shivrinsky	47	Alarm device of M number
E. N. Menshov	51	ENERGETICS Role of calibration of lorenz in electrodynamics
D. S. Aleksandrov A. S. Kalashnikov	55	Structural method of calculation of currents of short circuit in chains of rectifiers
V. V. Kyznecov R. A. Saifytdinov I. S. Bolsukhina	67	ECONOMICS AND QUALITY MANAGEMENT Economic development management in modern conditions
E. V. Markova A. M. F. Al Darabseh	72	The innovations' influence on economic growth
E. O. Denisova M. I. Krivenko R. M. Kochetkova	74	The impact population reproduction the formation human resources
	77	UNIVERSITY CHRONICLE. CONFERENCES. ANNIVERSARIES
	78	ABSTRACTS
	80	Guidance for typography of a paper for the journal «Vestnik of UISTU»

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

УДК 378.018

Е. В. АРИСТОВА, Н. Н. ТАРАСОВА

МАГИСТЕРСКИЕ ПРОГРАММЫ ЗА РУБЕЖОМ

Рассматриваются магистерские программы за рубежом, в частности в Европе, правила приёма, необходимые документы, представлен обзор стипендиальных программ для получения бесплатного обучения по магистерским программам за рубежом для российских студентов.

Ключевые слова: магистерские программы, конкурентоспособность, иностранный язык, стипендии.

На современном этапе развития мировой экономики получение степени магистра становится всё более актуальным и востребованным. Магистерские программы в системе российского образования занимают особое место. Содержание магистерских программ позволяет слушателям продолжить своё образование, получить дополнительные знания в выбранной профессиональной области, что обеспечивает более глубокий уровень владения профессией. Кроме того, в процессе изучения магистерской программы слушатели получают практические навыки в изучаемой области, что значительно повышает их конкурентоспособность на рынке труда.

В настоящее время магистратура рассматривается как реальная альтернатива второму высшему образованию, поэтому на магистерские программы также поступают желающие кардинально сменить сферу деятельности и приобрести новую специализацию или получить второй диплом по смежной специальности. Магистры получают комплекс компетенций, позволяющих сразу квалифицированно выполнять определённые функции.

В последние годы выпускники многих российских вузов достаточно активно осваивают магистерские программы за рубежом, и для этого существует ряд причин.

Основными преимуществами зарубежных магистерских программ считаются следующие:

- получение престижного иностранного диплома;
- изучение теоретического и практического опыта в выбранном направлении в другой стране;
- обучение в международных группах;
- получение навыков практической работы в соответствующей сфере деятельности (на период

прохождения практики);

- возможность использования информационных источников других стран;
- углублённое изучение иностранного языка [1], а возможно, двух;
- приобретение передовых знаний и практического опыта международного уровня;
- выбор программы, которой пока нет в российских вузах;
- прохождение стажировки в иностранной компании;
- налаживание профессиональных контактов за рубежом.

Зарубежные страны предлагают огромное количество магистерских программ, доступных для российских выпускников. Многие вузы предоставляют своим магистрам вид на жительство с правом на работу на время обучения (например, в Словении). Для поступления в магистратуру чаще всего необходимо знание только английского языка, а не официального языка страны. Учиться по таким программам можно в Германии, Италии, Швеции, Дании, Испании, Голландии, Бельгии, Чехии, Норвегии, Польше и т. д. Получить информацию о качестве обучения можно из всевозможных образовательных рейтингов, которые составляются с учётом различных показателей. Наиболее влиятельными из них являются общепризнанные Financial Times, Shanghai Ranking, QS World University Rankings. Для того чтобы выбрать специализированную магистерскую программу, помимо общих рейтингов вузов необходимо изучить рейтинг университетов по специальностям. При этом есть сложившееся мнение о том, где следует учиться по определённым специальностям, чтобы получить максимум компетенций. Так, например, в университетах США лучшие в мире программы в области IT, финансов и бизнеса, в Германии – в области инженерного дела, в Италии –

© Аристова Е. В., Тарасова Н. Н., 2019

в области моды и дизайна. Колледжи и университеты Швейцарии славятся своим обучением в области гостиничного менеджмента и индустрии гостеприимства.

Выпускнику магистратуры присваивается диплом магистра (Master). Две самые распространённые степени во всем мире – это Master of Arts (MA) и Master of Science – MSc). Степень магистра искусств (Master of Arts) получают выпускники программ в области гуманитарных наук – лингвистики, литературы, политологии, социологии, психологии и др. Степень магистра наук (Master of Science) присваивается в физике, биологии, химии, медицине, технических науках (например, машиностроении). Существуют также степени магистра права (Master of Laws – LL.M), финансов (Master in Finance – MFin), инженерного дела (Master of Engineering – MEng), компьютерных наук и другие.

Для поступления в магистратуру необходимо подтвердить уровень владения иностранным языком, на котором будет проходить обучение, получив международный сертификат. В самом распространённом случае, с английским языком, – это сертификаты TOEFL и IELTS, тест на знание немецкого языка называется TESTDAF или DSH. Университеты разных стран предъявляют различные требования к результатам этих тестов.

Широкий спектр магистерских программ на английском языке предлагают государственные университеты Германии. Но, к сожалению, они предоставляют весьма ограниченный список специальностей. При желании получить степень магистра по другой профессии придётся проходить обучение на немецком языке. Обучение на английском языке имеет свои плюсы. Нет необходимости в срочном порядке изучать немецкий язык для учёбы. Во время обучения существует возможность выучить и немецкий, и по окончании вуза овладеть двумя языками: национальным Германии – немецким и самым распространённым в Европе – английским. Проходить магистратуру на английском языке можно не по всем специальностям, но выбор довольно широк: дизайнерское искусство; IT-технологии; прикладная физика; финансирование; бухгалтерский учёт; туристический менеджмент; экономика; гостиничный менеджмент; международные отношения; маркетинг; бизнес-администрирование; право; политика.

При обучении на бесплатной программе нужно оплатить только медицинскую страховку (около 50–60 евро в месяц) и семестровые сборы (до 200 евро в семестр). Проживание, питание и остальные расходы также оплачиваются студентом самостоятельно.

Российский выпускник может также выбрать платную магистерскую программу. Причём во всех странах мира существуют специальные программы стипендий и грантов для иностранных студентов. Практически все университеты имеют раздел Scholarships на сайте, где представлены возможности для покрытия расходов, связанных с обучением. Эти стипендии способны покрыть все расходы, связанные с оплатой обучения, проживанием и питанием, а иногда и перелёт. Самые популярные из международных программ: Fulbright (США), Erasmus Mundus (страны Евросоюза), DAAD (Германия), CEEPUS (страны Центральной и Восточной Европы), Chevening Scholarships (Великобритания), Visby (Швеция), а также существует «Глобальное Образование» – государственная программа финансирования обучения граждан Российской Федерации в ведущих зарубежных университетах с последующим трудоустройством, согласно полученной квалификации. Уровни подготовки включают магистратуру, аспирантуру и ординатуру по следующим приоритетным направлениям: наука; педагогика; медицина; инженерная и высокотехнологичная сфера; управление в социальной сфере.

Главное, успеть подать все документы в срок. Но, кроме них, существуют ещё возможности получения стипендий от самих вузов. Узнать об этом более подробно можно из информации, размещённой на сайтах интересующих учебных заведений.

После окончания магистратуры многие студенты имеют возможность трудоустроиться по своей специальности при помощи карьерных центров, размещённых непосредственно в учебном заведении, а также ярмарок вакансий, которые проходят на базе университетов. В специальных разделах на сайтах вузов можно найти информацию о том, как быстро выпускники-иностранцы находят работу по окончании обучения. Такие данные большинство вузов выкладывают в общем доступе и обновляют ежегодно.

Для поступления в магистратуру требуются следующие документы:

- Диплом, подтверждающий получение степени бакалавра;
- Рекомендации из первого вуза;
- Приложение к диплому с указанием количества прослушанных часов и оценками;
- Мотивационное письмо;
- Резюме/Биография;
- Сертификат о прохождении языкового тестирования: TestDAF/DSH/IELTS/ TOEFL;
- Портфолио (при поступлении на творческие специальности).

В некоторых университетах желательно также написать заявление на предоставление стипендии. По сути, это ещё одно мотивационное письмо, в котором объясняется, почему стипендия необходима. Это письмо прикреплять необязательно, но без него нельзя будет принять участие в конкурсе стипендий в самом вузе.

Многие вузы предлагают пройти предварительную регистрацию онлайн, заполнив и отослав анкету и скан-копии прилагаемых к ней документов, что не отменяет зачастую необходимости отправки тех же документов почтой. Лучше всего – заказным письмом, или экспресс-почтой (DHL, UPS).

При попадании в число претендентов на место на курсе студенту предстоит пройти устное собеседование, которое вполне возможно провести по телефону или в Skype, особенно если речь идёт о программах, читаемых на национальном языке.

Мотивационное письмо и собеседование чрезвычайно важны, поэтому к ним стоит относиться со всей серьёзностью и избегать общих фраз, но и не вдаваться в излишние подробности.

Учитывая, что в Европе принято отправлять документы сразу в несколько вузов (5–10), стоит разослать заявления на поступление по списку выбранных факультетов.

Обучение в магистратуре за рубежом отличается от обучения в российской магистратуре, как и в целом система образования. Объём аудиторных занятий с преподавателем минимальны, акцент сделан на максимизации самостоятельной работы студентов. Все дисциплины полностью выбираются слушателем. Для получения диплома необходимо набрать определённое количество баллов за весь срок обучения. Все преподаватели в магистратуре имеют опыт работы на внешнем рынке труда и выбираются в результате конкурсного отбора.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что обучение по магистерской программе за рубежом более чем возможно для российских студентов как на платной, так и на бесплатной основе. Магистратура за рубежом – это отличный шанс не только получить прекрасное образование, но и пожить в другой стране, освоить иностранный язык и приобрести бесценный опыт взаимодействия с другой культурой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баринаева Н. В. Магистерские программы в России: теория и практика // *Инов: электронный научный журнал*, 2017. No3 (32). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.innov.ru/science/economy/magisterskie-programmy-v-rossii-teo/> (дата обращения: 15.03.2019).
2. Программа Эразмус Мундус <http://www.tempus-russia.ru/erasm.htm>, <https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus> (дата обращения: 15.03.2019).
3. Рейтинг университетов <https://www.topuniversities.com/university-rankings> (дата обращения: 15.03.2019).
4. Программа DAAD <https://www.daad.de> (дата обращения: 15.03.2019).
5. Программа CEEPUS <http://www.ceepus.info/#nbb> (дата обращения: 15.03.2019).
6. Программа Fulbright <http://fulbright.ru/russians/vgs> (дата обращения: 15.03.2019).
7. Программа Глобальное образование <http://www.educationglobal.ru/> (дата обращения: 15.03.2019).

REFERENCES

1. Barinova N.V. *Magisterskie programmy v Rossii: teoriya i praktika* // *Innov: elektronnyj nauchnyj zhurnal*, 2017. No3 (32). [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://www.innov.ru/science/economy/magisterskie-programmy-v-rossii-teo/> (accessed: 15.03.2019).
2. *Programma ErazmusMundus* <http://www.tempus-russia.ru/erasm.htm>, <https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus> (accessed: 15.03.2019).
3. *Rejting universitetov* <https://www.topuniversities.com/university-rankings> (accessed: 15.03.2019).
4. *Programma DAAD* <https://www.daad.de> (accessed: 15.03.2019).
5. *Programma CEEPUS* <http://www.ceepus.info/#nbb> (accessed: 15.03.2019).
6. *Programma Fulbright* <http://fulbright.ru/russians/vgs> (data obrashcheniya: 15.03.2019).
7. *Programma Global'noe obrazovanie* <http://www.educationglobal.ru/> (accessed: 15.03.2019).

•••••

Аристова Елена Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Иностранные языки», УлГТУ.

Тарасова Надежда Николаевна, старший преподаватель кафедры «Иностранные языки», УлГТУ.

Поступила 28.03.2019 г.

УДК 377

П. В. СТРЕНЯВСКАЯ, Г. М. ШИГАБЕТДИНОВА

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ СОТРУДНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Посвящена поиску и анализу современных методов обучения сотрудников на предприятии. Рассмотрены традиционные и современные образовательные формы обучения взрослых.

Ключевые слова: образование, андрагогика, обучение сотрудников, управление обучением на предприятии, гибридное обучение.

Главной особенностью обучения сотрудников, согласно основному принципу андрагогики, является то, что взрослому обучающемуся человеку принадлежит ведущая роль в процессе обучения [1, с. 238]. Став сформированной личностью, он ставит перед собой цели и стремится к их реализации. Саморазвитие, самообразование, самореализация – вот основные качества успешного человека сегодня.

Обучение взрослых людей должно осуществляться с учётом их возрастных, социально-психологических, национальных и прочих особенностей. С учётом как внешних условий (экономическая политика государства, законодательство и система налогообложения, научно-технический прогресс и т. п.), так и внутренних условий функционирования предприятий (их реструктуризация, технологические изменения и др.).

В середине XX века американский педагог Эдгар Дейл занимался вопросом эффективности получения знаний. Своим подопечным он предоставлял учебный материал различными способами и после этого проводил анализ их способностей восстанавливать полученную информацию. В итоге он пришёл к выводам, что прослушивание лекций и чтение материалов на конкретную тему является самым неэффективным способом усвоения информации, а обучение людей на основе их личного опыта является наиболее эффективным методом усвоить что-либо [2]. К концу 1970-х годов в Национальной тренинговой лаборатории США на основе «конуса Дейла» была разработана новая графическая версия «влияния методов обучения на степень усвоения материала», получившая название «*Пирамида обучения*» [2].

На основании теоретических данных можно предложить следующие варианты обучения сотрудников:

1) *создание среды для обучения сотрудников сотрудниками.* Согласно исследованиям, описанным выше, эффективность обучения других достигает 90%. Помимо этого, люди чувствуют, что могут реализовать себя на работе, в том числе в направлениях, которые им интересны;

2) *сотрудничество компаний с университетами и колледжами для обучения сотрудников узконаправленной отрасли.* В связи со стремительным ростом научно-технического прогресса потребность в повышении квалификации специалистов резко возрастает. Сотрудничая с учебными заведениями, которые регулярно обновляют образовательную базу, данная проблема может быть решена. К примеру, в УлГТУ было создано 17 базовых кафедр вузов на предприятии. Подписаны Соглашения о сотрудничестве (стратегическом партнёрстве) между УлГТУ и ФНПЦ «НПО Марс», ИРЭ РАН, УАЗ, АО УКБП, АО «Авиастар-СП», ОАО «НПП «Завод «Искра», ОАО «БИНБАНК» и др. [3]. Это позволило реализовать программы подготовки кадров в интересах предприятий, привлечь к учебному процессу высококвалифицированных сотрудников и откорректировать учебные планы в соответствии с потребностями рынка труда;

3) *адаптация платформ для корпоративных мобильных приложений и переход на гибридное обучение.* Предлагая сотрудникам больше возможностей для роста и развития, можно помочь им раскрыть свой потенциал. При гибридном обучении сочетаются преимущества как традиционной, очной, так и онлайн-форм обучения. Мобильные устройства позволяют организовать учебный процесс вне зависимости от места и времени, а системы

© Стрелявская П. В., Шигабетдинова Г. М., 2019

облачного хранения данных позволяют осуществлять обучение без привязки к конкретным устройствам;

4) *использование образовательных онлайн-платформ*. Данные платформы: позволяют сократить расходы на обучения [4]; дают возможность общения между пользователями; могут хранить безлимитное количество видео, аудио, текстовых файлов, курсов и вебинаров; отслеживают посещаемость, степень овладения материалом, успеваемость; тестируют сотрудников с последующей аттестацией;

5) *прохождение курсов в других компаниях*. Обмен опытом между компаниями может служить толчком к дальнейшему развитию, повысить прозрачность рынка, проанализировать собственные успехи со среднестатистическими показателями, получить знания о новейших технологиях и бизнес-процессах;

6) *внедрение активных методов обучения*. Деловые игры, тренинги, кейс-стади (casestudy) составляют практические действия обучающихся, которые либо предварительно изучили теоретический материал, либо во время активного обучения с помощью преподавателя извлекают теоретические положения;

7) *проведение профессиональных конференций*. Ввиду стремительного роста технологий, участие в профессиональных мероприятиях является неотъемлемой частью образовательного процесса специалиста. С 2012 года в г. Ульяновск ежегодно проходит международная IT-конференция «Стажка», участие в которой принимают тысячи профессионалов. Это прекрасная возможность обмена опытом, изучения передовых практик и безграничные возможности по нетворкингу и развитию бизнеса.

Таким образом, создание условий для повышения уровня квалификации сотрудника является важной и неотъемлемой частью жизни компании. Потребности в обучении находятся в прямой зависимости от уровня научных и инновационных изменений внешней среды, потребно-

стей потребителей и необходимости победы в конкурентной борьбе с другими компаниями. Организация должна соответствовать требованиям окружающей среды, а в лучшем случае – опережать. Поэтому крайне необходимо улучшение образовательной системы и внедрения современных методов обучения взрослых на предприятии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дресвянников В. А. Управление знаниями организации: учебное пособие. – Москва : КНОРУС, 2015. – 344 с.

2. Конус обучения Эдгара Дейла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://constructorus.ru/samorazvitie/konus-obucheniya-edgara-dejla.html>, свободный. – (дата обращения: 22.03.2019).

3. Базовые кафедры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ulsu.ru/ru/page/page_1/, свободный. – (дата обращения: 25.03.2019).

4. Система дистанционного обучения и аттестации персонала как средство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://900igr.net/prezentacija/ekonomika/primer-kompanii-prodajuschej-kompjuternuju-tekhniku-263801/sistema-distantsionnogo-obucheniya-i-attestatsii-personala-kak-sredstvo-1.html>, свободный. – (дата обращения: 18.03.2019).

•••••

Стрелянская Полина Владимировна, магистрант 2-го курса строительного факультета УлГТУ.

Шигабетдинова Гузель Мирхайзановна, кандидат педагогических наук, доцент, УлГТУ.

Поступила 28.03.2019 г.

Д. С. ВЫБОРНОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ СОТРУДНИКОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ В РАБОТЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Проблема переподготовки кадров и повышения их квалификации выдвигается на первый план ввиду постоянного обновления знаний и обесценивания прежних специальных знаний, что вызвано принятием новых нормативных актов и совершенствованием технологий.

Ключевые слова: обучение персонала, профессиональное развитие, обучение, развитие персонала, система обучения.

Процесс обучения может быть разделен на два этапа: первый – подготовительный, где выполняются работы по его организации, а второй – непосредственно обучение сотрудников заказчика. Подготовка сотрудников должна быть завершена до того, как им придется непосредственно работать в новой внедренной системе, в противном случае вероятность ошибок и некорректной работы возрастает, что ведет к очевидным финансовым потерям.

Подготовительный этап включает несколько элементов, определяющих принципы и порядок организации проведения тренингов. В первую очередь, речь идет о выявлении потребности в обучении и его целей. Далее следует понять, кто является участником обучения, и выявить процессы информационного обмена, происходящие между ними. Здесь имеет смысл воспользоваться следующим определением: участником процесса обучения является лицо или группа лиц, которые оказывают непосредственное влияние на сам процесс и отсутствие которых делает невозможным его проведение. Для разработки эффективной программы необходимо понять, кого мы собираемся учить, то есть определить категории имеющихся у нас слушателей и понять их потребности и, наконец, выбрать форму проведения занятий.

Внедрение любой сколько-нибудь значимой системы должно автоматически подразумевать необходимость подготовки персонала к работе с ней. Наиболее распространенной ситуацией, формирующей потребность в проведении обучения, как раз и становится внедрение новых информационно-аналитических систем или обновление версий ПО.

Для максимально эффективного достижения цели необходимо деление взрослых по различным возрастным категориям (поколениям). Для каждой категории необходимо установить требуемые цели, подходы, методы обучения, определить взаимодействие работников, относящихся к различным категориям. Согласно андрагогике, выделяется три возрастных категории: до 25 лет, от 25 до 45 лет, свыше 45 лет.

Проведение курса обучения применения новой программы в строительной компании, занимающейся проектированием и дизайном зданий и сооружений, было направлено на освоение новой информации средства обучения.

В ходе обучения необходимо было наглядно показать, что освоение программ поможет сотрудникам выполнять свою работу качественнее и быстрее.

Согласно принципам андрагогике, взрослому обучающемуся человеку принадлежит ведущая роль в процессе обучения. Являясь сформировавшейся личностью, он ставит перед собой конкретные цели обучения и стремится к самостоятельности, самореализации, самоуправлению.

Таким образом, обучение персонала при внедрении новых систем чрезвычайно важно, ведь успешность работы компании напрямую зависит от квалификации ее сотрудников. Обучение персонала необходимо организовать с учетом принципов андрагогике: опора на личный опыт, на практикоориентированность обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрагогика: принципы практического обучения для взрослых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elitarium.ru/obuchenie-princip-znaniya-opyt-celi-potrebnosti-razvitiie-andragogika-sposobnosti/>, свободный. – (дата обращения: 22.03.2019).

2. Петрова К. С., Кузьмина В. А., Фёдорова К. В. Проблемы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (ВМ-технологии) // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №2.

3. Построение процесса обучения персонала в рамках общей системы развития персонала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hr-portal.ru/blog/postroenie-processa-obucheniya-personala-v-ramkah-obshchey-sistemy-razvitiya-personalal>, свободный. – (дата обращения: 20.03.2019).

•••••

***Выборнов Дмитрий Сергеевич**, магистрант 2-го курса специальности «Промышленное и гражданское строительство» УлГТУ.*

*Научный руководитель **Шигабетдинова Гузель Мирхайзановна**, кандидат педагогических наук, доцент.*

Поступила 01.04.2019 г.

УДК 82-822

Р. Р. САЙФУТДИНОВА

СОВРЕМЕННЫЕ АНТОЛОГИИ: ОБЗОР ИЗДАТЕЛЬСКИХ ОШИБОК

Рассматривается антология как разновидность коллективного издания русской поэзии. Для анализа мы взяты её разновидности, которые были выпущены в начале нынешнего столетия и которые, с нашей точки зрения, содержат издательские ошибки.

Ключевые слова: антология, современная антология, издательские ошибки, аннотация, вступительная статья, содержание.

В настоящее время понятие «антология»¹ широко употребляется в печатной индустрии. В составлении антологий участвуют люди самых разных профессий: от профессиональных филологов, самих писателей до простых любителей слова. Выходит большое количество сборников поэтического, прозаического, а также смешанного содержания, приёмы составления которых зачастую не соответствуют исторически сложившимся признакам издания.

Современные антологии отличаются большей независимостью. Так, критерии отбора стихотворений основываются в большей степени на субъективном отношении составителя к поэтам. К примеру, недавно вышедшая в свет антология «Библиотека Захара Прилепина. Поэты XX века» вызвала неодобрительную реакцию со стороны читателей. П. Басинский – автор статьи «Нескромная любовь», опубликованной в «Российской газете», пишет об отсутствии объективности составителя. С его точки зрения, З. Прилепин не объяснил, почему он взял творчество С. А. Есенина, Б. Л. Васильева, В. А. Луговского, А. Б. Мариенгофа за основу издания.

Антология – далеко не новое понятие. Возникнув в первом столетии до нашей эры, она продолжает выпускаться, но зачастую с ошибками. Сейчас сложно назвать хотя бы одну антологию (не считая антологию И.С. Ежова и Е.И.

Шамурина), которая бы полностью отвечала требованиям издательского жанра. Одна из причин состоит в том, что данный сборник выходит одновременно с другими коллективными изданиями, схожими с ней, однако при детальном рассмотрении сильно отличающимися от неё.

Следующая причина заключается в том, что каждый составитель пытается отразить новое видение традиционного издательского жанра. С одной стороны, это обогащает его классификацию. Однако новый собранный материал зачастую может остаться без издательского комментария, а неправильно распределённые стихотворения – вызвать структурную дезориентацию в самой книге. И, наконец, многие ошибки, допущенные составителями в прошлом столетии, не исправляются и продолжают напоминать о себе в нынешних изданиях.

Например, одна из данных ошибок – родовое смешение. Её иллюстрирует антология «Первопрестольная: далёкая и близкая: Москва и москвичи в поэзии русской эмиграции» Б. Романова, состоящая из лирических и лиро-эпических произведений: «В неё вошли стихотворения и поэмы ста двадцати восьми поэтов первой и второй волн эмиграции. Книга представляет Москву как первопрестольную столицу, олицетворение всей России, с её великой и трагической историей» [4]. А ульяновская антология «С любовью трепетной» В. Н. Егорова включает как лирические, так и прозаические подборки. К тому же в данном издании наблюдается ещё смешение российских и зарубежных авторов.

Антология является конкретным изданием и отражает один взятый составителем критерий. Отклонение от данного правила иллюстрирует издание «Ульяновская словесность: начало XXI века» О. Шейпак и Н. Марянина. Из названия мы видим, что оно содержит произведения,

¹ Проанализировав большое количество определений антологии в толковых, литературоведческих, энциклопедических и др. словарях, автором предложено своё толкование термина: коллективное издание, включающее избранные, в зависимости от его вида, произведения разных авторов, отражающее литературный процесс той или иной эпохи и отличающееся целостностью, конкретностью.

чётко привязанные к таким показателям, как время и место. Однако, углубляясь в содержание и анализируя аннотацию, делаем вывод, что в антологию входят произведения не только ульяновских поэтов и прозаиков, к тому же, не только современников. Получается, что название антологии связано лишь с местом выхода самого издания. Цель составителя рассматриваемого сборника, как указано в аннотации, заключается в знакомстве читателя с современными авторами, «написавшими литературный портрет эпохи» [6]. Но разве она может быть достигнута путём временного дисбаланса, когда отбор произведений делался только с опорой на талант поэта или писателя? При формировании издания должны учитываться и сила авторского таланта, и соответствие произведения представляемой эпохе.

Каждая новая антология является открытием для читателя, поэтому он нуждается в соответствующих пояснениях. Каждый составитель подводит итоги проделанной работы и сообщает о них во вступительном слове. Именно благодаря нему читатель, особенно заинтересованный не только в содержании книги, но и в принципах её составления, может узнать о структуре антологии, её разновидности, причине выбора составителем тех или иных авторов. Верно написанное вступительное слово служит путеводителем. Поэтому важно, чтобы содержание и название антологии полностью были отражены в её предисловии.

Несоответствие названия издания его содержанию можно наблюдать в «Античной любовной лирике» С. Прокоповича. Данная антология является тематической, содержит подборку любовной лирики соответствующего времени. Однако во вступительном слове составитель пишет следующее: «Вместе с тем предпочтение было отдано „вечным“ темам: доблесть, любовь, красота, дружба, ибо то, как эти темы раскрываются в каждом конкретном случае, позволяет почувствовать всё своеобразие того или иного этапа в развитии литературы, культуры и общества в целом» [1, с. 5].

Ещё одним не менее важным путеводителем для читателя является аннотация. Из неё можно понять предмет издания, его аудиторию и актуальность. Поэтому правильно составленная общая информация о книге укрепляет доверие будущего читателя. Примером сборника, в котором допущено фактическое искажение, является антология «Голгофа: библейские мотивы в русской поэзии». Как указано в аннотации, «сборник

„Голгофа“ является антологией русской библейской поэзии XIX века» [2]. Однако в содержании есть ещё стихотворения авторов XX столетия.

Кроме аннотации и вступительного слова читатель обращает внимание на то, как расположены произведения: целиком блоком или по разделам. Антология «С любовью трепетной» В. Н. Егорова, посвящённая 10-летию Законодательного Собрания Ульяновской области, включает произведения авторов о Симбирском и Ульяновском крае. Исходя из заглавия, такое издание должно содержать два раздела, которые были бы связаны с историей города. Однако составитель смешивает творчество авторов разных эпох (XVIII, XIX, XX и XXI вв.). Фамилии поэтов и писателей, данные не в хронологическом порядке, нарушают целостное понимание. Как масштабное издание, антология должна поэтапно раскрывать взятое за основу литературное явление с необходимыми пояснениями.

Примером издания, которое содержит правильно составленный издательский комментарий и удобное для читателя содержание, является двухтомная антология «От символистов до обэриутов» А. Кобринского, О. Лекманова, А. Карпова. Её составители отметили, что цель вступительного слова состоит в том, чтобы «помочь читателю сориентироваться в структуре антологии» [5]. Так они пояснили, что разделы носят название модернистских течений, а сами авторы расположены в них условно, поскольку «многие поэты мигрировали из объединения в объединение, из группы в группу» [5]. А. Кобринский и О. Лекманов объяснили отбор стихотворений самой целью издания – «дать возможно более представительную картину» [5]. Поэтому они отразили как известные, так и малоизвестные имена.

Действительно, важный момент в составлении антологии заключается в её точно обозначенной цели. Зачастую издатели представляют актуальный материал, интересно располагают произведения, но при этом абстрактно формулируют цель антологии. Например, издание «Календарь русской поэзии» А. П. Голубева, И. Б. Смирновой отражает лирическую подборку на определённый день в году. Как пишут составители, «в этом сборнике на каждый день года даётся только одно стихотворение, как бы одна музыкальная нота. Эти ноты подобраны таким образом, чтобы получилось своего рода законченное музыкальное произведение – поэтический год, в котором отражаются мысли и чувства русских

поэтов» [3, с. 5]. Безусловно, данная антология является продуктом долгого труда составителей. Однако неясна причина, согласно которой на определённый день в году они выделили соответствующего автора. Поскольку антология является конкретным изданием, следовательно, она предполагает точность всех формулировок.

Примерами антологий, в которых проделанный отбор лирики был сделан в соответствии с точно сформулированной целью, являются следующие издания Ю. В. Казарина: «Первое стихотворение: 100 русских поэтов XVIII–XX вв. Моё стихотворение» и «Последнее стихотворение: 100 русских поэтов XVIII–XX вв.». В них составитель представил образцы раннего и позднего творчества авторов. Цель – дать поэтические портреты авторов в соответствующие периоды их творческой биографии.

В настоящее время антология является одним из востребованных издательских жанров, однако отход составителей от принципов формирования данного сборника нарушает целостное понимание читателем того или иного художественного явления, а вместе с тем и литературной ситуации соответствующей эпохи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Античная любовная лирика. – Москва : «Эксмо», 2005. – 320 с.
2. Голгофа: Библейские мотивы в русской поэзии / Худож. офор. Б.Ф. Бублик. – Москва : ООО «Издательство АСТ»; Харьков: «Фолио», 2001. – 464 с.
3. Календарь русской поэзии / Сост.: А. П. Голубев, И. Б. Смирнова. – Москва : Дрофа, 2010. – 437 с.
4. Первопрестольная: далёкая и близкая: Москва и москвичи в поэзии русской эмиграции / Сост., авт. вступ. ст. и примеч. Б. Романов. – Москва : «Русский мир», 2005. – 576 с.
5. От символистов до обэриутов. Поэзия русского модернизма: антология: в 2 кн. / Сост. :

А. Кобринский, О. Лекманов. – Москва : «Эллис Лак 2000», 2001. Кн. 1. – 703 с.

6. Ульяновская словесность: начало XXI века: антология. – Ульяновск: Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2015. – 720 с.

REFERENCES

1. *Antichnaya lyubovnaya lirika* [Ancient love lyrics]. Moscow : «Eksmo», 2005. 320 p.
2. *Golgofa: Biblejskie motivy v russkoj poezii* [Golgotha: Biblical motifs in Russian poetry] / Hudozh. ofor. B.F. Bublik. Moscow : ООО «Izdatel'stvo AST»; Har'kov: «Folio», 2001. 464 p.
3. Golubev A. P., Smirnova I. B. *Kalendar' russkoj poezii* [Calendar of Russian poetry]. Moscow : Drofa, 2010. 437 p.
4. *Pervoprestol'naya: dalekaya i blizkaya: Moskva i moskvichi v poezii russkoj emigracii* [The first altar: far and near: Moscow and Muscovites in the poetry of Russian emigration] / Sost., avt. vstup. st. i primech. B. Romanov. – Moscow : «Russkij mir», 2005. 576 p.
5. *Ot simvolistov do oberiutov. Poeziya russkogo modernizma: antologiya* [From symbolists to oberiuts. Poetry of Russian modernism: anthology] : v 2 kn. / Sost. : A. Kobrinskij, O. Lekmanov. Moscow : «Ellis Lak 2000», 2001. Kn. 1. 703 p.
6. *Ul'yanovskaya slovesnost': nachalo XXI veka: antologiya* [Ulyanovsk literature: the beginning of the XXI century: an anthology]. Ul'yanovsk: Izdatel'stvo «Korporaciya tekhnologij prodvizheniya», 2015. 720 p.

•••••

Сайфутдинова Регина Рафаэлевна Ведущий специалист Отдела международных связей УлГПУ им. И. Н. Ульянова.

Поступила 23.04.2019 г.

СООБЩЕНИЯ

УДК 159.9

Е. А. ИСАЕВА

ВЛИЯНИЕ РОДИТЕЛЕЙ НА ВОСПИТАНИЕ ДЕТЕЙ

Постановлена задача рассмотреть влияние родителей на воспитание детей на примере кинофильма «Чучело» по одноимённой повести В. Железнякова. В результате анализа определили, что влияние родителей, образ жизни и ценности отражаются на воспитание их детей и формируют социальную среду, в которой дети живут.

Ключевые слова: воспитание, дети, родители, ценности, внимание, конфликт.

Актуальность выбранной нами темы обуславливается, во-первых, проблемой недостаточного внимания родителей к воспитанию у детей духовно-нравственных ценностей, во-вторых, ускорением темпов современной жизни и занятости родителей, в-третьих, недостаточной психолого-педагогической культурой взрослых.

Цель настоящего исследования – определить характер влияния родителей на становление личности ребенка. Объектом нашего исследования является процесс становления личности. Предметом нашего исследования выступает влияние культуры родителей на становление личности. Используемые методы: теоретический анализ и психолого-педагогический анализ поведения героев кинофильма «Чучело» по одноименной повести В. Железнякова [3].

На поведение детей, их систему ценностей большую роль оказывают родители и та социальная среда, в которой живут дети. Главная героиня фильма Лена Бессольцева приходит в новый класс и не находит понимания в школьной среде.

Школьный класс – малая группа, внутри которой происходят свои определённые процессы. В противовес Лене у них совсем иные ценности. Главное в их жизни отнюдь не духовное начало, все их разговоры направлены на материальные ценности (деньги, вещи), их поведение характеризуется неким эгоизмом, мстительностью, злопамятством. Каждый из них преследует собственную цель, стремится наказать виноватого. «Откуда у неё деньги на фирму, она же взяток не берёт. – Пускай берёт», «Я не ломовая лошадь, чтоб бесплатно работать. У нас государство

богатое» [1]. Эти цитаты ещё раз отражают жизненные представления ребят ради социального статуса, материального благосостояния, готовность пренебречь моральными принципами. Один из них, к примеру, сдаёт собак на живодерню за копейки. Кроме того, неуважение к взрослым, пожилым людям, к их жизни и чувствам – ещё одна характерная черта данной группы. «Всю свою жизнь под откос пустила: ни кола, ни двора, пятерых вырастила, ни один ни копейки не шлёт», – эти слова мальчик говорит о собственной бабушке [1]. Неуважительное общение с собственной мамой одной девочки также свидетельствует об этой черте группы. Их понятие «справедливости» исключает из себя всё положительное наполнение: травля Лены Бессольцевой – тому пример. Данная группа – идеальный пример характерного для этого возраста максимализма: «Живёшь не по правде – расплата». И уж если расплата, то «по всем статьям». Жестокость здесь естественна, а что естественно, то небезобразно. Социальная среда, в которой воспитываются эти дети, играет свою роль: разведённые или пьющие родители, мама, у которой все должно быть «шито-крыто», низкое материальное положение, мрачная обстановка города. Дети оказываются обделёнными: кто-то в одном, кто-то в другом. Не зря все они рвутся в Москву как в другую жизнь и ожесточаются, когда поездка срывается.

Лена Бессольцева сильно отличается от них. Выросшая в семье, где ценится милосердие, работа, любовь, внимание, она доброжелательна, улыбчива, открыта миру. Появившись в новом для себя коллективе, в первый же день сказала: «Вы все такие хорошие!» [1]. С первых же минут фильма она предстаёт как человек, не только не желающий никому зла, но даже не

© Исаева Е. А., 2019

видящий его в других. Соглашаясь с ребятами, когда те смеются над её дедушкой, она абсолютно не понимала всей трагичности ситуации. Хотя в последующем признала свою ошибку, пусть даже сделанную не со зла: «Я предала тебя, дедушка... Я – предатель» [1]. Лена несколько раз прощает человека, предавшего её, и никак не желает видеть в нём труса. В ней всегда присутствует желание поддержать, оказать помощь, для этого она даже готова пойти на личные жертвы: принимает на себя вину мальчика, которого любит, чтобы избавить его от наказания одноклассников.

Дедушка Лены – коллекционер картин. Он покупает их, отдавая большие деньги, при этом абсолютно не заботясь о своём внешнем виде. В картинах заключается вся жизнь пожилого человека. Главными ценностями в этой семье являются духовные. Именно он привил Лене столь ценное качество, как любовь к людям: «Дедушка, ведь ты же говорил, что нужно быть милосердным!» [1]. Именно дедушка повлиял на становление внучки. Совершенно очевидно, что Лена Бессольцева – человек, который сумел пережить и простить предательство, сумел устоять перед напором группы, сумел не потерять человеческого достоинства, – сильный человек. Важнейшими ценностями для неё являются нравственные.

Конфликт между Леной Бессольцевой и одноклассниками происходит из-за разницы в ценностных установках детей, разницы в воспитании, в окружении. Бескорыстие, желание помочь, открытость, доброта и сила характера Лены сталкивается с трусостью, эгоизмом, жестокостью, желанием наказать всех у её одно-

классников. Прямые столкновения с учениками в классе не могут сломить девочку, она видит и понимает многое, но умеет многое прощать. Её позиция в конфликте с ребятами – избегание конфликта, желание найти с ними общее и на этой основе выстроить дружеские связи с ними. Ребята видят, как она от них отличается, и терроризируют её.

В воспитании детей большую роль играют родители, семейный уклад, образ жизни родителей, их ценностные ориентации. Поэтому так важна просветительская работа со взрослыми, институтов образования и культуры, средств массовой информации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Андреева Г. М. Социальная психология. Раздел III Социальная психология групп : Учебник. – Москва : Аспект-Пресс, 2003.
2. Петровская Л. А. О понятийной схеме социально-психологического анализа конфликта. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1977. – С. 126–143.
3. Фильм Р. Быкова «Чучело». – Тверь, 1983.

•••••

Исаева Елена Андреевна, магистрант 2-го курса строительного факультета УлГТУ.

Научный руководитель – Шигабетдинова Гузель Мирхайзановна, кандидат педагогических наук, доцент УлГТУ.

Поступила 29.03.2019 г.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ЧЕЛОВЕКА НА ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОЧЕГО МЕСТА

Посвящена исследованию влияния характера человека на организацию рабочего места. Рассмотрен зарубежный опыт психологов по данной теме и проведены исследования на базе строительной организации.

Ключевые слова: взаимосвязь, характер, личность, рабочее место.

Актуальность выбранной темы обуславливается, во-первых, необходимостью повышения удовлетворённости сотрудников рабочим местом, во-вторых, необходимостью правильной организации рабочего пространства, в-третьих, необходимостью повышения производительности труда.

Цель исследовательской работы: выявить взаимосвязь характера человека с организацией рабочего места.

Задачи, которые будут решать в работе: изучение теоретического материала; эмпирическое исследование в виде фотофиксации рабочих мест сотрудников с последующим сопоставлением с типом характера, выявленным на основе тестирования.

Объектом исследования является организация рабочего места человека. Предмет – влияние характера человека на организацию рабочего пространства. В процессе исследования использовались такие методы, как теоретический анализ, наблюдение, тестирование, сравнение и обобщение.

О характере человека, его личности, творческих или деловых качествах, а также внутренних проблемах могут рассказать нам не только поступки, которые он совершает, не только слова и жесты, но и, как ни странно, его рабочее место. Хочет он или нет, но человек проявляет свой характер через внешние признаки. Конечно, мы не сможем с полной вероятностью сделать вывод о том, что представляет из себя человек, взглянув на рабочее место, но это позволяет выявить зависимость организации рабочего места с типом личности.

В качестве критерия диагностики личности человека использована система, предложенная американским психологом Сьюзен Деллинджер.

Система называется «Психогометрия» [1]. В соответствии с ней, все люди делятся на пять групп, каждая из которых обозначена одной из пяти геометрических фигур: квадрат, треугольник, круг, зигзаг, прямоугольник. Для описания состояния рабочего места и в качестве критерия, взяты результаты исследований, проведённые зарубежными психологами по данной тематике. Британский психолог Кэри Купер проанализировал 2500 фотографий рабочих столов из разных уголков Европы. Он выделил пять психологических типажей обладателей рабочих столов: Фанатик порядка; Семьянин; Шутник; Лидер-эстет; Хаотичный гений [2]. Психологом и руководителем Лили Бернхаймер из британской компании «Space WorksConsulting», на основе исследований, проводимых в университете Суррея (Великобритания), выделено пять основных типов состояния рабочих столов: Беспорядок; Минимализм; Территориальный захват; Отпечаток личности; Наблюдательный пункт [3].

Экспериментальная часть работы осуществлялась на базе одной из строительных организаций г. Ульяновска. Протестированы семь сотрудников и проанализированы их рабочие места. На основе полученных результатов и сопоставления результатов теста с описанием рабочего места сделаны выводы о наличии или отсутствии взаимосвязи.

Первый участник. Документы аккуратно сложены в стопки, беспорядок отсутствует, на столе нет пыли. Присутствует записная книжка с задачами на неделю. Канцелярские принадлежности (ручки, карандаши, ножницы, скрепки) уложены в органайзер. Современный компьютер и МФУ. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – фанатик порядка, а по состоянию рабочего места – минимализм. По результатам тестирования выбрана фигура – треугольник. При соотношении

наблюдения и результатов теста делаем вывод, о наличии взаимосвязи, стол принадлежит человеку с лидерскими и решительными чертами характера, рабочее место функционально, имеется качественная оргтехника.

Второй участник. Документы находятся справа и слева в хаотичном порядке, присутствует ноутбук, стопка нормативной документации по тематике работы, ручки и карандаши с правой стороны (не в органайзере). Рядом с ноутбуком чашка и закуска к чаю. Стол располагается в центре кабинета, и бумаги плавно перемещаются на соседние столы. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – хаотичный гений, а по состоянию рабочего места – территориальный захват. По результатам тестирования выбрана фигура – квадрат. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод об отсутствии взаимосвязи. Квадрат характеризует человека как стабильного, консервативного и практичного. Для него характерно рабочее место, где все вещи располагаются на своих местах и тем более перпендикулярно и параллельно.

Третий участник. Беспорядок в прямом смысле слова. Документы перемешаны с личными вещами, скомканная бумага, присутствует пыль и чашка для чая. На мониторе приклеены разноцветные стикеры с задачами. При поиске нужных бумаг тратится много времени. Много старых ненужных вещей. Присутствует растение в горшке. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – хаотичный гений, а по состоянию рабочего места – беспорядок. По результатам тестирования выбрана фигура – круг. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод о наличии взаимосвязи. Круг характеризует хозяина стола как общительного открытого и доброго человека. Присутствие нерешительности. Уютный беспорядок на рабочем месте, наличие вещей, которые жалко выбросить.

Четвёртый участник. Место простое, стильное, присутствует слабый беспорядок, но организованный, нужный документ находится за короткое время. Присутствуют фотографии с поездок и сувениры. Канцелярские принадлежности в органайзере в доступном месте. Всё располагается ровно. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – семьянин, а по состоянию рабочего места – отпечаток личности. По результатам тестирования выбрана фигура – квадрат. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод о наличии взаимосвязи. Человек – хранитель традиций, исполнитель. Присутствует

упорство, аккуратность и практичность. На рабочем месте вещи располагаются параллельно и перпендикулярно, присутствуют фотографии и сувениры.

Пятый участник. На столе беспорядок, горы документов и бумаги, много интересных вещей, чашка с забавной надписью. Рабочее место располагается в оживлённом и шумном кабинете. При необходимости нужный документ находится быстро. Яркий коврик для компьютерной мышки. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – шутник, а по состоянию рабочего места – беспорядок. По результатам тестирования выбрана фигура – зигзаг. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод о наличии взаимосвязи. Рабочее место характеризует человека как весёлого и творческого. Яркое оформление, беспорядок и шумный кабинет полностью подтверждается результатом тестирования.

Шестой участник. Небольшой беспорядок на столе, чашка для чая рядом с маловажными документами, сувениры с поездки, фотографии близких людей, канцтовары в органайзере, много цветных и ярких ручек, коврик с животными, с левой стороны особо важные документы разложены в хронологическом порядке. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – семьянин, а по состоянию рабочего места – беспорядок. По результатам тестирования выбрана фигура – круг. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод о наличии взаимосвязи. Рабочее место даёт понять, что перед нами человек семьянин, так как присутствуют фотографии близких и сувениры из поездки. Беспорядок присутствует, но уютный, важным документам уделено особое внимание. По результатам теста перед нами добрый общительный семейный человек. Миротворец, домосед. Место характеризуется уютным беспорядком.

Седьмой участник. Рабочий стол оформлен креативно, документы разложены от менее важных до важных, на каждом имеется стикер и записка с напоминанием. На столе присутствуют стильные канцтовары, сувенир, привезённый из путешествия и растение в горшке, а также книги и журналы. Исходя из наблюдения и анализа, психологический типаж обладателя – лидер-эстет, а по состоянию рабочего места – отпечаток личности. По результатам тестирования выбрана фигура – зигзаг. При соотношении наблюдения и результатов теста делаем вывод о наличии взаимосвязи, но

частично. При взгляде на рабочий стол складывается впечатление об открытом творческом и интеллигентном человеке, любящим стильные и элегантные вещи. Результат теста показал, что человек творческий, любитель ноу-хау, но также склонен к неуправляемости, непредсказуемости, и на рабочем столе фантастический беспорядок с кричащим оформлением, что идёт вразрез с состояний рабочего стола. Но при дельном изучении результата теста, на втором месте стоит фигура квадрат (вторая фигура показывает меньшее влияние, но «глубже») и характеризует человека у которого всё на своём месте, документы расположены параллельно и перпендикулярно, поэтому взаимосвязь характера и рабочего места частичная.

Подводя итоги, можем сделать вывод, что в большинстве случаев (5 из 7 (70%)) взаимосвязь состояния рабочего места сотрудника полностью прослеживается и совпадает с его типом характера. Результаты проведённого нами исследования будут полезны руководителям и самим работникам. Они позволяют изучить взаимосвязь типа характера человека с организацией его рабочего места. В продолжение данного исследования можно было бы провести лонгитюдное исследование, в котором можно изучить влияние изменения организации рабочего места на повышение ответственности сотрудника, его самочувствия, и в конечном итоге, на повышение производительности труда.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стеганцев А. В. Круги, зигзаги и другие люди [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.stiogantsev.ru/index_k.html, свободный; (дата обращения: 01.03.2019).

2. Сосницкая О. П. Покажи мне свой рабочий стол, и я скажу, кто ты [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. - DeutscheWelle: 2010. – Режим доступа: <https://p.dw.com/p/MOaW>, свободный; (дата обращения: 01.03.2019).

3. Элиссон Б. Что говорит ваш рабочий стол о вашем характере. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – BBCCapital: 2016. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/vert-cap-38078438#>, свободный; (дата обращения: 01.03.2019).

•••••

Равин Александр Сергеевич, магистрант строительного факультета гр. ПГСмд-21, УлГТУ.

Научный руководитель – Шигабетдинова Гузель Мирхайзановна, кандидат педагогических наук, доцент УлГТУ.

Поступила 29.03.2019 г.

УДК 531.39; 531.66

А. А. ЗЕМСКОВ, С. А. КАШКИРОВ, В. К. МАНЖОСОВ

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ДВУХ ТВЁРДЫХ ТЕЛ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ПРЕГРАДОЙ И ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ

Построена модель столкновения двух твёрдых тел с жёсткой преградой. Механическая система имеет несколько степеней свободы и односторонние связи. Удар считается мгновенным. После удара и при восстановлении скорости возникает процесс многократных ударов одного из тел. Для произвольного удара определены скорость удара, величина отскока тела от преграды, время между двумя последовательными ударами. Определено время переходного процесса, связанного с многократными ударами. Построена модель движения второго тела при разрыве связи с первым телом. Определены условия, при которых не происходит столкновения твёрдых тел друг с другом.

Ключевые слова: модель движения, столкновение, односторонние связи, удар, коэффициент восстановления, многократные удары, относительное движение

Механизмы автоматизированного захвата твёрдых тел занимают важное место в технологических процессах транспортировки объектов [1, 2]. В работе [3] рассмотрена механическая система переменной структуры, предназначенная для дистанционного автоматизированного захвата твёрдого тела и последующего его подъёма. Схема механической системы представлена на рисунке 1.

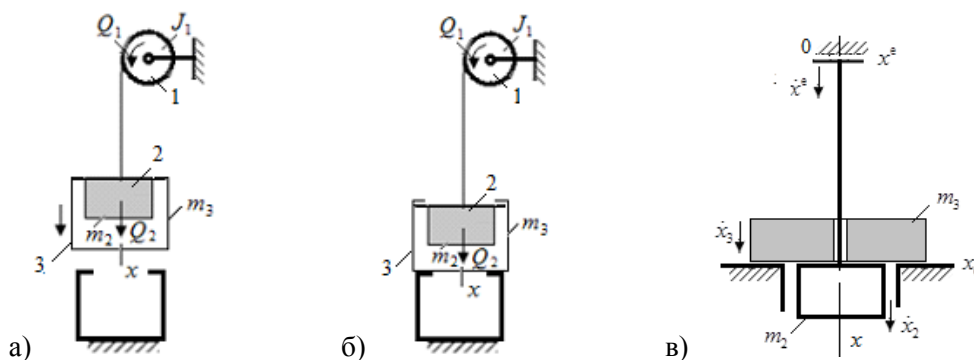


Рис. 1. Схема механической системы: а – перемещение механизма к объекту транспортировки; б – положение механической системы в момент столкновения; в – схема механической системы в виде системы двух твёрдых тел в момент столкновения

Движение механической системы при перемещении механизма захвата к объекту транспортировки до момента контакта звена 3 с объектом транспортировки описывается уравнениями:

$$J_1 \ddot{\phi} = M_1 - \alpha_1 \dot{\phi} + c(x - \varphi r), \text{ если } x > \varphi r; \quad J_1 \ddot{\phi} = M_1 - \alpha_1 \dot{\phi}, \text{ если } x \leq \varphi r;$$

$$m \ddot{x} = G - c(x - \varphi r) - \alpha_2 \dot{x}, \text{ если } x > \varphi r; \quad m \ddot{x} = G - \alpha_3 \dot{x}, \text{ если } x \leq \varphi r,$$

где J_1 – приведённый к звену 1 момент инерции привода; $Q_1 = M_1 - \alpha_1 \dot{\phi}$ – обобщённая сила, приведённая к ведомому звену механизма 1 (барabanу); M_1 – приведённый к звену 1 момент движущих

сил; $\dot{\varphi}$ – скорость вращения ведомого звена механизма 1; $\alpha_1 \dot{\varphi}$ – приведённый к звену 1 момент сил трения привода; c – жёсткость троса; x – координата прямолинейно движущегося тела массой m ; φ – угол поворота барабана; r – радиус барабана; m – суммарная масса всех звеньев, движущихся прямолинейно вдоль оси x ($m = m_2 + m_3$, m_2 – масса звена 2, m_3 – масса звена 3); $Q_2 = G - \alpha_3 \dot{x}$ – обобщённая сила, приложенная к прямолинейно движущемуся телу массой m ; G – сила тяжести тела массой m ; $\alpha_3 \dot{x}$ – приложенная к звену 3 сила трения; \dot{x} – скорость прямолинейно движущегося тела массой m .

Неравенства вида $x > \varphi r$ или $x \leq \varphi r$ в уравнениях движения учитывают наличие удерживающей или недерживающей связи звена 2 и ведомого звена 1 привода.

В момент столкновения звена 3 с объектом транспортировки (рис. 1, б) механическая система приобретает дополнительную степень свободы, и её движение рассматривается как движение звена 3 с ударом о преграду (объект транспортировки), вращение звена 1 и движение звена 2 с разрывом недерживающей связи со звеном 3.

В работе [1] была рассмотрена модель движения звена 3 при соударениях о преграду в предположении, что в процессе этих соударений отсутствует контакт звена 3 и звена 2. Модель столкновения звена 3 с преградой описывается равенствами:

$$\dot{x}_3^+ = -R \cdot \dot{x}_3^-, \text{ если } x_3 = x_c \text{ и } \dot{x}_3^- > 0,$$

где \dot{x}_3^+ – скорость звена 3 после столкновения с преградой; \dot{x}_3^- – скорость звена 3 перед столкновением с преградой; R – коэффициент восстановления скорости при столкновении с преградой; x_3 – координата звена 3; x_c – координата преграды.

Координата x_3 при столкновении совпадает с координатой преграды: $x_3(t_{c_i}) = x_c$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, где t_{c_i} – время i -го столкновения.

Удар звена 3 о преграду может многократно повторяться на интервале $t_{c_i} < t < t_1$ (t_{c_i} – время первого столкновения; t_1 – время завершения процесса многократных соударений и остановка корпуса). Если на интервале $t_{c_i} < t < t_1$ после первого столкновения в момент t_{c_i} происходит i -й удар ($i = 2, 3, \dots$), то

$$\dot{x}_3 = -R \dot{x}_3^-(t_{c_{i-1}}) + g(t - t_{c_i}), \quad x_3 = x_c - R \dot{x}_3^-(t_{c_{i-1}})(t - t_{c_i}) + g(t - t_{c_i})^2 / 2, \quad i = 2, 3, \dots, n,$$

где x_3 – координата звена 3; x_c – координата преграды; $\dot{x}_3^-(t_{c_{i-1}})$ – скорость звена 3 перед столкновением с преградой; R – коэффициент восстановления скорости при ударе; t_{c_i} – время i -го столкновения.

В процессе соударений координата звена 3 всегда удовлетворяет неравенству $x_3 \leq x_c$. И только когда процесс соударений завершится, координата звена 3 станет равной координате преграды.

Суммарное время соударений при числе соударений, стремящихся к бесконечности, конечно и определяется как

$$\Delta t = 2R \dot{x}_3^-(t_{c_1}) / (g(1 - R)).$$

Это время и определяет время переходного процесса.

Движение звена 1 и звена 2 при разрыве связи звена 2 и звена 3 на время переходного процесса столкновения звена 3 с преградой опишем дифференциальными уравнениями:

$$J_1 \ddot{\varphi} = M_1 - \alpha_1 \dot{\varphi} + c(x_2 - \varphi r), \text{ если } x_2 > \varphi r; \quad J_1 \ddot{\varphi} = M_1 - \alpha_1 \dot{\varphi}, \text{ если } x_2 \leq \varphi r;$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = G_2 - c(x_2 - \varphi r) - \alpha_2 \dot{x}_2, \text{ если } x_2 > \varphi r; \quad m_2 \ddot{x}_2 = G_2 - \alpha_2 \dot{x}_2, \text{ если } x_2 \leq \varphi r,$$

где $G_2 = m_2 g$ – сила тяжести тела массой m_2 ; x_2 – координата массы m_2 в абсолютном движении; \dot{x}_2 – скорость массы m_2 в абсолютном движении; $\alpha_2 \dot{x}_2$ – приложенная к звену 2 сила трения.

Рассмотрим условия, выполнение которых при разрыве связи звена 2 и звена 3 во время переходного процесса столкновения звена 3 с преградой не произойдёт столкновения звена 3 со звеном 2.

Примем, что во время переходного процесса столкновения звена 3 с преградой жёсткость троса остается постоянной, а угол поворота барабана φ из-за кратковременности процесса меняется по линейному закону: $\varphi = \varphi_0 + \omega(t - t_{c_1})$, $t_{c_1} \leq t \leq t_2$.

Здесь φ_0 – угол поворота барабана в момент разрыва связи звена 2 и звена 3; ω – скорость вращения барабана в момент разрыва связи звена 2 и звена 3; t_2 – время завершения переходного процесса, связанного с колебаниями звена 2 из-за разрыва связи звена 2 и звена 3.

В этом случае движение звена 2 опишем уравнениями:

$$m_2 \ddot{x}_2 = G_2 - c \cdot [x_2 - \varphi_0 r - \omega r(t - t_{c_1})] - \alpha_2 \dot{x}_2, \text{ если } x_2 > \varphi_0 r + \omega r(t - t_{c_1}); \quad t_{c_1} \leq t \leq t_2; \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = G_2 - \alpha_2 \dot{x}_2, \text{ если } x_2 \leq \varphi_0 r + \omega r(t - t_{c_1}); \quad t_{c_1} \leq t \leq t_2. \quad (2)$$

На рисунке 1, в представлена схема механической системы в момент столкновения корпуса с преградой. С гибким тросом свяжем подвижную систему координат, перемещающуюся в направлении преграды со скоростью \dot{x}^e . Положение подвижной системы координат определяется координатой x^e .

Значение координаты x^e и скорости \dot{x}^e определим равенствами:

$$x^e = (x^e)_0 + \omega r(t - t_{c_1}), \quad \dot{x}^e = \omega r = \dot{x}^-(t_{c_1}), \quad (3)$$

где $(x^e)_0 = \varphi_0 r$ – координата, определяющая положение подвижной системы координат в момент столкновения корпуса с преградой, когда $t - t_{c_1} = 0$; \dot{x}^e – скорость подвижной системы координат в момент столкновения звена 3 с преградой.

Для уравнений (1) и (2) введём новую переменную:

$$x'_2 = x_2 - \varphi_0 r - \omega r(t - t_{c_1}). \quad (4)$$

Координата x'_2 определяет положение массы m_2 в подвижной системе координат. Дифференцируя по t равенство (4), находим скорость и ускорение массы m_2 в относительном движении:

$$\dot{x}'_2 = \dot{x}_2 - \omega r, \quad \ddot{x}'_2 = \ddot{x}_2. \quad (5)$$

Учитывая данные равенства в (1) и (2), получим

$$m_2 \ddot{x}'_2 + \alpha_2 \dot{x}'_2 + c x'_2 = G_2 - \alpha_2 \omega r, \quad \text{если } x'_2 > 0; \quad 0 \leq t - t_{c_1} \leq t_2 - t_{c_1}; \quad (6)$$

$$m_2 \ddot{x}'_2 + \alpha_2 \dot{x}'_2 = G_2 - \alpha_2 \omega r, \quad \text{если } x'_2 \leq 0; \quad 0 \leq t - t_{c_1} \leq t_2 - t_{c_1}. \quad (7)$$

Силы трения гасят колебания. Рассмотрим менее благоприятную модель движения, когда отсутствуют силы трения:

$$m_2 \ddot{x}'_2 + c x'_2 = G_2, \quad \text{если } x'_2 > 0; \quad 0 \leq t - t_{c_1} \leq t_2 - t_{c_1};$$

$$m_2 \ddot{x}'_2 = G_2, \quad \text{если } x'_2 \leq 0; \quad 0 \leq t - t_{c_1} \leq t_2 - t_{c_1}.$$

Преобразуем эти уравнения к виду

$$\ddot{x}'_2 + k^2 x'_2 = g, \quad \text{если } x'_2 > 0; \quad \tau = t - t_{c_1}, \quad \Delta T_2 = t_2 - t_{c_1}, \quad 0 \leq \tau \leq \Delta T_2; \quad (8)$$

$$\ddot{x}'_2 = g, \quad \text{если } x'_2 \leq 0; \quad 0 \leq \tau \leq \Delta T_2, \quad (9)$$

где $k^2 = c / m_2$, $g = G_2 / m_2$.

В момент разрыва связи между массами m_2 и m_3 движение массы m_2 начинаем описывать уравнением (8). Так как связь в виде троса звена 2 и ведомого звена 1 привода является неудерживающей, то при $x'_2 \leq 0$ движение массы m_2 описываем уравнением (9). Но для перехода к такому описанию необходимо знать время разрыва связи и фазовое состояние системы (координату массы m_2 и её скорость) в момент разрыва связи.

Решение (8) и производную \dot{x}'_2 (если $x'_2 > 0$) представим как

$$x'_2 = C_1 \cos k\tau + C_2 \sin k\tau + g / k^2; \quad \dot{x}'_2 = k(-C_1 \sin k\tau + C_2 \cos k\tau). \quad (10)$$

Решения (10) справедливы, если в относительном движении $x'_2 > 0$. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из начальных условий:

$$(x'_2)_0 = \frac{(m_3 + m_2)g}{c} = \frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} + 1 \right), \quad (\dot{x}'_2)_0 = 0. \quad (11)$$

Тогда из (10) $\frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} + 1 \right) = C_1 + g / k^2$, $C_1 = \frac{g}{k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2}$, $C_2 = 0$, и решения (10) примут вид

$$x_2^r = \frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} \cos k\tau + 1 \right), \quad \dot{x}_2^r = -\frac{g}{k} (m_3 / m_2) \sin k\tau, \quad x_2^r > 0. \quad (12)$$

Решения (10) будут справедливы, если в абсолютном движении после столкновения звена 3 с преградой при выполнении условия $x_2^r > 0$ не произойдёт столкновения звена 2 и корпуса 3 между собой. Чтобы не было столкновения звеньев 2 и 3, необходимо выполнить неравенство:

$$x_2 - x_c > 0. \quad (13)$$

Движение звена 2 относительно подвижной системы координат будем описывать уравнением (9), если $x_2^r \leq 0$ и время $\tau = t - t_{c_1} > 0$. Для определения времени τ_* перехода к состоянию $x_2^r \leq 0$ воспользуемся решением (12), приравняв $x_2^r|_{\tau=\tau_*} = 0$ к нулю:

$$\frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} \cos k\tau_* + 1 \right) = 0, \quad \tau_* = \frac{1}{k} \arccos \left(-\frac{m_2}{m_3} \right). \quad (14)$$

Для описания движения звена 2 в неподвижной системе координат воспользуемся уравнением (4), учитывая, что $(x^e)_0 = \varphi_0 r$:

$$x_2 = x_2^r + \varphi_0 r + \omega r(t - t_{c_1}).$$

Так как $\varphi_0 r = x_c - (x_2^r)_0$, $\tau = t - t_{c_1}$, то

$$x_2 = x_c + x_2^r - (x_2^r)_0 + \omega r \tau. \quad (15)$$

Учитывая (11) для $(x_2^r)_0$ и (12) для x_2^r , приходим к равенствам:

$$x_2 - x_c = x_2^r - (x_2^r)_0 + \omega r \tau, \quad x_2 - x_c = \frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} \cos k\tau + 1 \right) - \frac{g}{k^2} \left(\frac{m_3}{m_2} + 1 \right) + \omega r \tau, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_*,$$

$$x_2 - x_c = \frac{g}{k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (\cos k\tau - 1) + \omega r \tau, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_*. \quad (16)$$

При $\tau = \tau_*$

$$x_2|_{\tau=\tau_*} - x_c = \frac{g}{k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (\cos k\tau_* - 1) + \omega r \tau_*. \quad (17)$$

Чтобы не было столкновения звеньев 2 и 3 при $\tau = \tau_*$, требуется выполнить неравенство

$$x_2|_{\tau=\tau_*} - x_c > 0:$$

$$x_2|_{\tau=\tau_*} - x_c = \frac{g}{k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (\cos k\tau_* - 1) + \omega r \tau_* > 0. \quad (18)$$

Так как слагаемое $\frac{g}{k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (\cos k\tau_* - 1) < 0$, то для выполнения условия (18) необходимо, чтобы скорость переносного движения удовлетворяла неравенству:

$$\omega r > \frac{g}{\tau_* k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (1 - \cos k\tau_*), \quad x_2|_{\tau=\tau_*} - x_c > 0.$$

Учитывая, что из (14) $\tau_* = \frac{1}{k} \arccos \left(-\frac{m_2}{m_3} \right)$, находим

$$\omega r > \frac{g}{\tau_* k^2} \cdot \frac{m_3}{m_2} (1 - \cos k\tau_*) = \frac{g \left(1 + \frac{m_2}{m_3} \right)}{k \frac{m_2}{m_3} \arccos \left(-\frac{m_2}{m_3} \right)}. \quad (19)$$

В предельном случае, когда скорость переносного движения

$$\omega r = \frac{g(1 + m_2 / m_3)}{k(m_2 / m_3) \cdot \arccos \left(-\frac{m_2}{m_3} \right)}, \quad (20)$$

координата звена 2 при $\tau = \tau_*$ становится равной координате преграды x_c : $x_2 \Big|_{\tau=\tau_*} - x_c = 0$.

В таблице 1 приведены значения скорости переносного движения ωr в зависимости от соотношения масс m_2 / m_3 и значений круговой частоты k при расчёте по формуле (20).

На рисунке 2 представлены диаграммы, определяющие разницу координат ($x_2 - x_c$) звена 2 и преграды на интервале $0 \leq \tau \leq \tau_*$ при различных значениях соотношения масс m_3 / m_2 и круговой частоте $k = 130 \text{ с}^{-1}$. Для каждого соотношения масс m_2 / m_3 скорость переносного движения ωr определялась по формуле (20).

Таблица 1

Соотношение масс m_2 / m_3	Скорость переносного движения ωr в м/с, рассчитанная по формуле (20)					
	$k = 130 \text{ с}^{-1}$	$k = 140 \text{ с}^{-1}$	$k = 150 \text{ с}^{-1}$	$k = 160 \text{ с}^{-1}$	$k = 170 \text{ с}^{-1}$	$k = 180 \text{ с}^{-1}$
0,1	0,496259	0,460812	0,430091	0,40321	0,379492	0,358409
0,2	0,25523	0,237	0,2212	0,207375	0,195176	0,184333
0,3	0,174177	0,161736	0,150953	0,141519	0,133194	0,125794
0,4	0,1331	0,123593	0,115353	0,108144	0,101782	0,096128
0,5	0,107981	0,100268	0,093583	0,087734	0,082573	0,077986

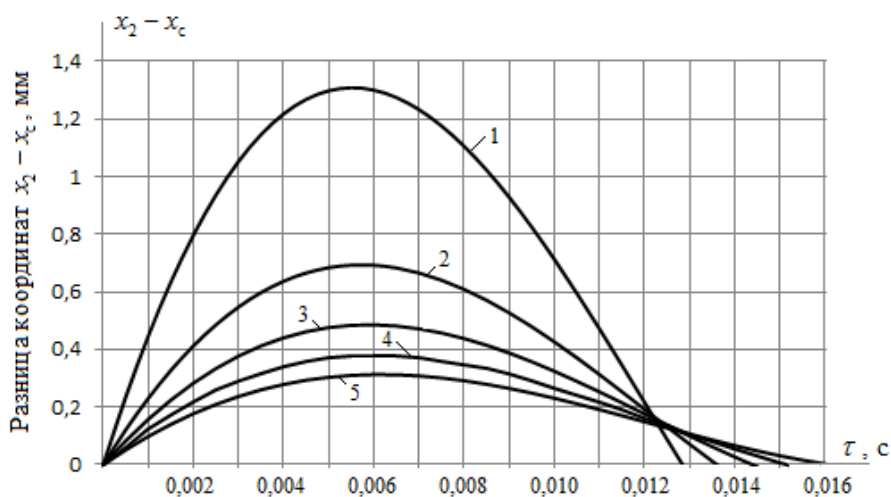


Рис. 2. Диаграммы, определяющие разницу координат ($x_2 - x_c$) на интервале $0 \leq \tau \leq \tau_*$: 1 – при $m_2 / m_3 = 0,1$ и $\omega r = 0,496 \text{ м/с}$; 2 – при $m_2 / m_3 = 0,2$ и $\omega r = 0,255 \text{ м/с}$; 3 – при $m_3 / m_2 = 0,3$ и $\omega r = 0,174 \text{ м/с}$; 4 – при $m_2 / m_3 = 0,4$ и $\omega r = 0,133 \text{ м/с}$; 5 – при $m_2 / m_3 = 0,5$ и $\omega r = 0,108 \text{ м/с}$

Неравенство (19) является необходимым, но недостаточным условием для исключения столкновения звеньев 2 и 3. Отсутствие столкновения будет гарантировано, если неравенство (19) будет дополнено условием, что при $\tau = \tau_*$ скорость звена 2 будет больше или равна нулю:

$$\dot{x}_2 \Big|_{\tau=\tau_*} \geq 0. \quad (21)$$

Из (5) с учётом (12) определим скорость звена 2 на интервале $0 \leq \tau \leq \tau_*$:

$$\dot{x}_2 = \dot{x}_2' + \omega r = \omega r - \frac{g}{k}(m_3 / m_2) \sin k\tau, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_*. \quad (22)$$

При $\tau = \tau_*$ скорость звена 2

$$\dot{x}_2 \Big|_{\tau=\tau_*} = \omega r - \frac{g}{k}(m_3 / m_2) \sin k\tau_*. \quad (23)$$

Учитывая условие (21), находим, что

$$\omega r \geq \frac{g}{k}(m_3 / m_2) \sin k\tau_*$$

Учитывая, что из (14) $\tau_* = \frac{1}{k} \arccos\left(-\frac{m_2}{m_3}\right)$, находим

$$\omega r \geq \frac{g}{k(m_2 / m_3)} \sin[\arccos(-m_2 / m_3)]. \quad (24)$$

В предельном случае, когда скорость переносного движения

$$\omega r = \frac{g}{k(m_2 / m_3)} \sin[\arccos(-m_2 / m_3)], \quad (25)$$

скорость звена 2 при $\tau = \tau_*$ становится равной нулю.

В таблице 2 приведены значения скорости переносного движения ωr в зависимости от соотношения масс m_2 / m_3 и значений круговой частоты k при расчете по формуле (25).

Таблица 2

Соотношение масс m_2 / m_3	Скорость переносного движения ωr в м/с, рассчитанная по формуле (24)					
	$k = 130 \text{ c}^{-1}$	$k = 140 \text{ c}^{-1}$	$k = 150 \text{ c}^{-1}$	$k = 160 \text{ c}^{-1}$	$k = 170 \text{ c}^{-1}$	$k = 180 \text{ c}^{-1}$
0,1	0,750833	0,697202	0,650722	0,610052	0,574166	0,542268
0,2	0,369685	0,343278	0,320393	0,300369	0,2827	0,266994
0,3	0,239952	0,222813	0,207959	0,194961	0,183493	0,173299
0,4	0,172904	0,160554	0,14985	0,140485	0,132221	0,124875
0,5	0,130703	0,121367	0,113276	0,106196	0,09995	0,094397

Сопоставляя значения скорости переносного движения в таблицах 1 и 2, заметим их более высокие значения при расчете ωr по формуле (25). Условие

$$\omega r \geq \frac{g}{k(m_2 / m_3)} \sin[\arccos(-m_2 / m_3)]$$

исключает возможность столкновения звеньев 2 и 3 во время переходного процесса при столкновении звена 3 с преградой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А. Ф. Грузозахватные устройства с автоматическим и дистанционным управлением. – Москва : Стройиздат, 1979. – 173 с.
2. Fan Yu C. Gripping Mechanisms for Industrial Robots // Mechanism and Machine Theory. 1982, 17 (5). pp. 299–311.
3. Земсков А. А., Кашкиров С. А., Манжосов В. К. Модель столкновения механизма захвата с преградой // Вестник УлГТУ. – 2017. – №4. – С. 28–32.

REFERENCES

1. Andreev A. F. *Gruzozahvatnye ustrojstva s avtomaticheskim i distancionnym upravleniem* [Load gripping devices with automatic and remote control]. – Moscow : Strojizdat, 1979. – 173 p.
2. Fan Yu C. Gripping Mechanisms for Industrial Robots // Mechanism and Machine Theory. 1982, 17 (5). pp. 299–311.
3. Zemskov A. A., Kashkirov S. A., Manzhosov V. K. *Model' stolknoveniya mekhanizma zahvata s pregradoj* [The collision of the gripper with a barrier] // Vestnik UIGTU. – 2017. – №4. – pp. 28–32.

.....

Земсков Александр Александрович, аспирант Ульяновского государственного технического университета, инженер ООО НПФ «Сосны». Имеет статьи в области анализа механизмов переменной структуры. E-mail: tpm@ulstu.ru.

Кашикиров Сергей Анатольевич, заместитель начальника конструкторского отдела ООО НПФ «Сосны». Имеет статьи в области анализа механизмов переменной структуры. E-mail: ksa.sosny@gmail.com.

Манжосов Владимир Кузьмич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи, монографии, изобретения в области динамики машин, анализа и синтеза механизмов переменной структуры, моделирования процессов удара. E-mail: v.manjosov@ulstu.ru.

Поступила 15.04.2019 г.

УДК 531.1; 531.8

В. К. МАНЖОСОВ, А. А. САМСОНОВ

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЗАКРЕПЛЁННОГО СТЕРЖНЯ С ДИСКОМ ПРИ КРУЧЕНИИ И РАЗРЫВЕ СВЯЗИ

Рассмотрена волновая модель движения механической системы в виде диска и однородного стержня, закреплённого в жёсткое основание. До начала движения реакция внешней связи закручивает диск и стержень. При разрыве внешней связи начинается движение поперечных сечений стержня. Для решения волнового уравнения используется метод бегущих волн. Угловая скорость, угловое ускорение и относительный угол закручивания поперечных сечений стержня определяются с использованием функций прямых и обратных волн.

Ключевые слова: стержень, волновое уравнение, метод бегущих волн, волна деформации, скорость поперечных сечений стержня, деформация в поперечных сечениях стержня.

Динамика продольного взаимодействия жёсткого твёрдого тела со стержнем с использованием волновой модели движения рассматривается в работах [1–4]. Однако исследования вращательного движения твёрдого тела и стержня с применением волновой модели не столь распространены [5–7]. В данной работе рассмотрена волновая модель движения механической системы (рис. 1) в виде диска и однородного стержня, закреплённого в жёстком основании.

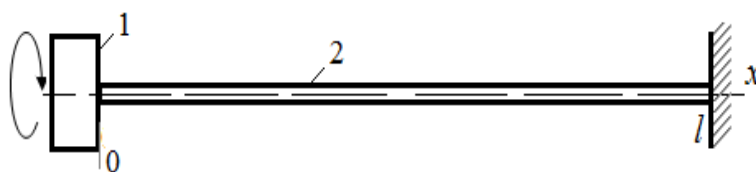


Рис. 1. Схема механической системы

Твёрдый недеформируемый диск 1 с осевым моментом инерции J_x закреплён в сечении $x = 0$ стержня 2. До начала движения на диск действует реакция внешней связи в виде момента M_0 . Под действием момента M_0 стержень 2 закручен. При $t = 0$ происходит разрыв внешней связи диска, реакция внешней связи в виде момента M_0 исчезает и начинается движение механической системы. Движение поперечных сечений стержня описывается волновым уравнением вида

$$\frac{\partial^2 \varphi(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 \varphi(x,t)}{\partial t^2} = 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad (1)$$

где $\varphi(x,t)$ – угол поворота поперечного стержня, положение которого определяется координатой x ; t – время; a – скорость распространения волны деформации в материале стержня.

Начальные условия: при $t = 0$

$$\frac{\partial \varphi(x,0)}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial \varphi(x,0)}{\partial x} = \frac{M_0}{GJ_p}, \quad 0 < x \leq l. \quad (2)$$

Здесь $\varphi(0,0)$ – угол поворота сечения $x = 0$ при $t = 0$; $\partial \varphi(x,0)/\partial t$ – угловая скорость поперечных сечений стержня при $t = 0$; $\partial \varphi(x,0)/\partial x$ – относительный угол закручивания поперечных сечений стержня при $t = 0$.

Граничные условия:

$$\text{при } x = 0 \quad J_x \frac{\partial^2 \varphi(0,t)}{\partial t^2} = GJ_p \frac{\partial \varphi(0,t)}{\partial x}, \quad (3)$$

$$\text{при } x = l \quad \frac{\partial \varphi(l,t)}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

где G – модуль упругости 2-го рода материала стержня; J_p – полярный момент инерции поперечного сечения стержня.

Решение волнового уравнения (1) по методу бегущих волн представляется как

$$\varphi(x,t) = f(at-x) + \chi(at+x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (5)$$

где $f(at-x)$ – функция, описывающая параметры прямой волны, распространяющейся в стержне в направлении оси x ; $\chi(at+x)$ – функция, описывающая параметры обратной волны, распространяющейся в стержне в противоположном направлении.

Из решения (5) волнового уравнения следует, что угловая скорость $\partial \varphi(x,t)/\partial t$, угловое ускорение $\partial^2 \varphi(x,t)/\partial t^2$ и относительный угол закручивания $\partial \varphi(x,t)/\partial x$ поперечных сечений стержня определяются как

$$\frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial t} = a f'(at-x) + a \chi'(at+x), \quad \frac{\partial^2 \varphi(x,t)}{\partial t^2} = a^2 f''(at-x) + a^2 \chi''(at+x), \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial x} = -f'(at-x) + \chi'(at+x). \quad (7)$$

С учётом этого начальные условия (2) примут вид:

$$f'(0-x) + \chi'(0+x) = 0, \quad -f'(0-x) + \chi'(0+x) = \frac{M_0}{GJ_p}, \quad 0 < x \leq l, \quad (8)$$

откуда следует, что

$$f'(0-x) = -\chi'(0+x), \quad \chi'(0+x) = \frac{M_0}{2GJ_p}, \quad f'(0-x) = -\frac{M_0}{2GJ_p}, \quad 0 \leq x \leq l. \quad (9)$$

Граничные условия (3) – (4) примут вид:

$$\text{при } x = 0 \quad J_x a^2 [f''(at-0) + \chi''(at+0)] = GJ_p [-f'(at-0) + \chi'(at+0)], \quad (10)$$

$$\text{при } x = l \quad f'(at-l) + \chi'(at+l) = 0. \quad (11)$$

Формируемая в сечении $x = 0$ прямая волна, описываемая функцией $f(at-0)$, для произвольного сечения x преобразуется как

$$f(at-0+x-x) = f\left[a\left(t + \frac{x-0}{a}\right) - x\right], \quad (12)$$

т. е. имеет тот же вид, что и для сечения $x = 0$, но только с запаздыванием по времени на величину $(x-0)/a$, равную времени распространения прямой волны от ударного сечения до сечения x .

Падающая на границу $x = l$ прямая волна $f(at-l)$ в соответствии с граничным условием (11) в сечении $x = l$ формирует обратную волну, описываемую функцией

$$\chi(at+l) = -f(at-l). \quad (13)$$

Для произвольного сечения x обратная волна $\chi(at+l)$ преобразуется как

$$\chi(at+l+x-x) = \chi\left[a\left(t + \frac{l-x}{a}\right) + x\right] \quad (14)$$

и будет иметь тот же вид, что и в сечении $x = l$, но запаздыванием по времени на величину $(l-x)/a$, равную времени распространения обратной волны от сечения $x = l$ до сечения x .

С учётом равенства (13) обратная волна в сечении $x = 0$ соответствует параметрам прямой волны, сформированной в сечении $x = 0$ ранее по времени на $2l/a$:

$$\chi(at+0) = -f[(at-2l)-0], \quad \chi'(at+0) = -f'[(at-2l)-0], \quad \chi''(at+0) = -f''[(at-2l)-0]. \quad (15)$$

Из граничного условия(10):

$$J_x a^2 [f''(at-0) + \chi''(at+0)] = GJ_p [-f'(at-0) + \chi'(at+0)], \quad (16)$$

функция, определяющая параметры формируемой в ударном сечении прямой волны, определяется из решения дифференциального уравнения:

$$f''(at-0) + \frac{GJ_p}{J_x a^2} f'(at-0) = \frac{GJ_p}{J_x a^2} \chi'(at+0) - \chi''(at+0). \quad (17)$$

Уравнения, определяющие параметры формируемой в ударном сечении прямой волны, с учётом (15) примут вид:

$$f''(at) + \frac{GJ_p}{J_x a^2} f'(at) = -\frac{GJ_p}{J_x a^2} f'(at-2l) + f''(at-2l), \quad (18)$$

Учитывая, что $G = a^2 \rho$ (где ρ – плотность материала стержня), полярный момент инерции поперечного сечения $J_p = \pi d_{\text{np}}^4 / 32$, имеем [5]:

$$\frac{GJ_p}{J_x a^2} = \frac{\rho J_p}{J_x} = \frac{\frac{1}{2} \Delta m_{\text{np}} \frac{d_{\text{np}}^2}{4}}{J_x} = \frac{\Delta J_{\text{np}}}{J_x} = \alpha, \quad (19)$$

где $\alpha = \Delta J_{\text{np}} / J_x$ – отношение момента инерции единицы длины стержня ΔJ_{np} относительно продольной оси x к приведённому моменту инерции J_x диска; $\Delta m_{\text{np}} = \rho A_{\text{np}} l / l$ – масса единицы длины стержня; $\rho A_{\text{np}} l$ – масса стержня длиной l ; $A_{\text{np}} = \pi d_{\text{np}}^2 / 4$ – приведённая площадь поперечного сечения стержня; d_{np} – приведённый диаметр стержня.

Обозначим переменную $at = \xi$. Тогда уравнение (18) примет вид:

$$f''(\xi) + \alpha f'(\xi) = -\alpha f'(\xi - 2l) + f''(\xi - 2l), \quad (i-1)2l \leq \xi \leq i \cdot 2l, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (20)$$

где i – номер интервала времени продолжительностью $2l$.

Решение дифференциального уравнения (20) относительно первой производной $f'(\xi)$ и функцию обратной волны $\chi'(\xi)$ из равенства (15) на i -м интервале движения $(i-1)2l \leq \xi \leq i \cdot 2l$ представим как

$$f'(\xi) = C_i e^{-\alpha \xi} + e^{-\alpha \xi} \int e^{\alpha \xi} [f''(\xi - 2l) - \alpha f'(\xi - 2l)] d\xi, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (21)$$

$$\chi'(\xi) = -f'(\xi - 2l), \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (22)$$

где C_i – постоянная интегрирования на i -м интервале движения.

Покажем решение уравнения (21) на интервале $0 \leq t \leq 2l/a, 0 \leq \xi \leq 2l$.

На первом интервале движения, учитывая начальное волновое состояние (9), имеем

$$f''(\xi - 2l) = 0, \quad f'(\xi - 2l) = -\frac{M_0}{2GJ_p}, \quad \chi'(\xi) = -f'(\xi - 2l) = \frac{M_0}{2GJ_p}, \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (23)$$

Решение (21) примет вид:

$$f'(\xi) = C_1 e^{-\alpha \xi} + e^{-\alpha \xi} \int e^{\alpha \xi} \alpha \frac{M_0}{2GJ_p} d\xi, \quad f'(\xi) = C_1 e^{-\alpha \xi} + \alpha \frac{M_0}{2GJ_p} e^{-\alpha \xi} \int e^{\alpha \xi} d\xi, \quad 0 \leq \xi \leq 2l.$$

Вычисляя интеграл, получим

$$f'(\xi) = C_1 e^{-\alpha \xi} + \alpha \frac{M_0}{2GJ_p} e^{-\alpha \xi} \frac{1}{\alpha} e^{\alpha \xi} = C_1 e^{-\alpha \xi} + \frac{M_0}{2GJ_p}, \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (24)$$

При $\xi = 0$ имеем из (23)

$$f'(0) = C_1 + \frac{M_0}{2GJ_p}.$$

Учитывая (9): $f'(0) = -\frac{M_0}{2GJ_p}$, находим, что

$$C_1 = -\frac{M_0}{GJ_p}. \quad (25)$$

Решение (24) с учётом (25) на интервале $0 \leq \xi \leq 2l$ принимает вид:

$$f'(\xi) = -\frac{M_0}{GJ_p}e^{-\alpha\xi} + \frac{M_0}{2GJ_p} = \frac{M_0}{2GJ_p}(1 - 2e^{-\alpha\xi}), \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (26)$$

Функция $\chi'(\xi)$ из (23) уже определена:

$$\chi'(\xi) = \frac{M_0}{2GJ_p}, \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (27)$$

Угловая скорость сечения $x = 0$ из (6) определится, учитывая (26) и (27), как

$$\frac{\partial \varphi(0, t)}{\partial t} = af'(\xi) + a\chi'(\xi) = a\frac{M_0}{2GJ_p}(1 - 2e^{-\alpha\xi}) + a\frac{M_0}{2GJ_p} = a\frac{M_0}{GJ_p}(1 - e^{-\alpha\xi}), \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (28)$$

Относительный угол закручивания в сечении $x = 0$ из (7) определится, учитывая (26) и (27), как

$$\frac{\partial \varphi(0, t)}{\partial x} = -f'(\xi) + \chi'(\xi) = -\frac{M_0}{2GJ_p}(1 - 2e^{-\alpha\xi}) + \frac{M_0}{2GJ_p} = \frac{M_0}{GJ_p}e^{-\alpha\xi}, \quad 0 \leq \xi \leq 2l. \quad (29)$$

Процедура определения функций $f'(\xi)$ и $\chi'(\xi)$ на последующих интервалах движения сводится к следующему. Если известна функция $f'_{i-1}(\xi)$ на предыдущем интервале, то дифференцируя её по ξ , находим $f''_{i-1}(\xi)$.

Переходим к следующему интервалу и определяем $f''_i(\xi - 2l)$ и $f'_i(\xi - 2l)$. Подставляем найденные выражения $f''_i(\xi - 2l)$ и $f'_i(\xi - 2l)$ в уравнение (21):

$$f'_i(\xi) = C_i e^{-\alpha\xi} + e^{-\alpha\xi} \int e^{\alpha\xi} [f''_i(\xi - 2l) - \alpha f'_i(\xi - 2l)] d\xi, \quad (i-1)2l \leq \xi \leq i \cdot 2l.$$

Функция $\chi'_i(\xi)$ из (22) определяется как

$$\chi'_i(\xi) = -f'_i(\xi - 2l), \quad (i-1)2l \leq \xi \leq i \cdot 2l.$$

Значение C_i определяется из условия равенства угловых скоростей сечения $x = 0$ в конце предыдущего интервала и в начале следующего:

$$[af'_{i-1}(\xi) + a\chi'_{i-1}(\xi)]|_{\xi=i \cdot 2l} = [af'_i(\xi) + a\chi'_i(\xi)]|_{\xi=i \cdot 2l}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов О. Д., Манжосов В. К., Еремьянц В. Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. – Москва : Наука, 1985. – 354 с.
2. Кильчевский Н. А. Динамическое контактное сжатие твёрдых тел. Удар. – Киев : Наукова думка, 1976. – 320 с.
3. Zhukov I. A., Dvornikov L. T. New constructive solutions of anvil-blocks of percussion mining machines. North Charleston : Create Space, 2015. – 130 p.
4. Манжосов В. К. Продольный удар. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 358 с.
5. Манжосов В. К. Модель вращательного удара по стержню // Вестник УлГТУ. – 2017. – № 2. – С. 47–50.
6. Шевченко Ф. Л., Улитин Г. М. О разновидностях крутильных ударов, возникающих при работе буровых установок и способах их устранения // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые. – Екатеринбург : УГГА, 2001. – Вып. 24. – С. 132–138.
7. Улитин Г. М., Петтик Ю. В. Крутильный удар бурильной колонны при заклинивании режущего инструмента // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Природно-геологічна». – 2008. – №7 (135). – С. 104–107.

REFERENCES

1. Alimov O. D., Manzhosov V. K., Erem'yanc V. E. *Udar. Rasppostpanenie voln defopmacij v udapnyh sistemah* [Impact. Propagation of deformation waves in shock systems]. Moscow : Nauka, 1985. 354 p.

2. Kil'chevskij N. A. *Dinamicheskoe kontaktное szhatie tvyordyh tel. Udar* [Dynamic contact compression of solids. Impact]. □ Kiev : Naukova dumka, 1976. □– 320 p.
3. Zhukov I. A., Dvornikov L. T. New constructive solutions of anvil-blocks of percussion mining machines. North Charleston : Create Space, 2015. 130 p.
4. Manzhosov V. K. *Prodol'nyj udar* [Longitudinal impact]. Ul'yanovsk : UIGTU, 2007. 358 p.
5. Manzhosov V. K. *Model' vrashchatel'nogo udara po sterzhnyu* [Model rotational hitting the web] // Vestnik UIGTU. 2017. №2, pp. 47–50.
6. Shevchenko F. L., Ulitin G. M. *O raznovidnostyah krutil'nyh udarov, vznikayushchih pri rabote burovnyh ustanovok i sposobah ih ustraneniya* [The varieties of torsional shocks occurring during the operation of drilling installations and how to resolve them] // *Sovershenstvovanie tekhniki i tekhnologii bureniya skvazhin na tvordye poleznye iskopaemye* [Improvement of equipment and technology of drilling wells for solid minerals]. Ekaterinburg : UGGA, 2001. Вып. 24, pp. 132–138.
7. Ulitin G. M., Pettik YU. V. *Krutil'nyj udar buril'noj kolonny pri zaklinivanii rezhushchego instrumenta* [Torsional blow of a drill string at jamming of the cutting tool] // *Naukovi praci DonNTU. Seriya «Prnichologichna»* [Naukovi Pratsi DonNTU. A series of «Price geological»]. 2008. №7 (135), pp. 104–107.

.....

Манжосов Владимир Кузьмич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи, монографии, изобретения в области динамики машин, моделирования процессов удара [e-mail: y.manjosov@ulstu.ru].

Самсонов Александр Анатольевич, аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи и патенты в области создания механизмов различного технологического назначения [e-mail: tpm@ulstu.ru].

Поступила 18.04.2019 г.

УДК 539.3:533.6:517.9

А. В. ГЛАДУН, П. А. ВЕЛЬМИСОВ

О ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЯМИ ТРУБОПРОВОДА

Рассмотрена задача построения стабилизирующего управления в случае динамической неустойчивости трубопровода. Исходное дифференциальное уравнение с частными производными, описывающее динамику трубопровода, с помощью метода Галёркина приводится к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений, для которой строится управление, обеспечивающее асимптотическую устойчивость нулевого решения. Приведены результаты численного моделирования динамики трубопровода под действием построенного управляющего воздействия.

Ключевые слова: упругий трубопровод, динамика, управляемость, стабилизация, уравнения с частными производными, метод Галёркина.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-41-730015.

1. Введение

Составной частью многих конструкций, приборов, аппаратов, установок и т. д. являются трубопроводы, по которым протекает поток жидкости или газа. Воздействие потока может приводить к возникновению колебаний трубопровода, нарушающих надёжность эксплуатации конструкций и приводящих к разрушению конструкций или их элементов. В связи с этим при проектировании механических систем с трубопроводами необходимо использование математических моделей, позволяющих заранее определить значения параметров механической системы, гарантирующих

© Гладун А. В., Вельмисов П. А., 2019

нормальную работу конструкций и не приводящих к их разрушению или возникновению аварийной ситуации [1–6]. Если по каким-то причинам параметры системы выходят за границы стабильной работы конструкции, требуется срочная коррекция системы, предполагающая решение задачи управления параметрами трубопровода. Управление параметрами предполагает активное воздействие на трубопровод с целью устранения возникающих в нём колебаний [7, 8].

2. Постановка задачи

Рассматривается задача построения управления, обеспечивающего гашение колебаний трубопровода, с протекающей внутри него жидкостью или газом. Для описания динамики трубопровода используется уравнение [1, 3, 5]

$$(m_0 + m_*) \ddot{w}(x, t) + EJw''''(x, t) + (N + m_* U^2) w''(x, t) + 2Um_* \dot{w}'(x, t) + \alpha \dot{w}''''(x, t) - \beta \ddot{w}''(x, t) - \frac{1}{2} w''(x, t) \left(\theta_0 \int_0^l w'^2(x, t) dx + \theta_* \frac{\partial}{\partial t} \int_0^l w'^2(x, t) dx \right) + f(x, t) = 0, \quad (1)$$

где коэффициенты m_0 , m_* , J вычисляются по формулам:

$$m_0 = \rho_0 \pi (R_*^2 - R_0^2), \quad m_* = \rho_* \pi R_0^2, \quad J = \frac{\pi}{4} (R_*^4 - R_0^4).$$

Штрих и точка сверху обозначают частные производные по координате x и времени t соответственно. В уравнении (1) $w(x, t)$ – деформация (прогиб) в сечении x в момент времени t ; E – модуль упругости; U , m_* , ρ_* – скорость, масса жидкости (газа) на единицу длины и плотность жидкости (газа); l – длина трубы между опорами; R_* , R_0 – внешний и внутренний радиусы трубопровода; m_0 , ρ_0 – масса металла на единицу длины трубы и плотность металла; N – сжимающая ($N > 0$) или растягивающая ($N < 0$) сила; α – коэффициент внутреннего демпфирования; коэффициент β учитывает инерцию вращения сечений; θ_0 , θ_* – некоторые постоянные; $f(x, t)$ – внешнее управляющее воздействие на трубопровод.

Введём безразмерные координату \bar{x} , время \bar{t} и функцию прогиба \bar{w} :

$$\bar{x} = \frac{x}{l}, \quad \bar{t} = \frac{U}{l} t, \quad \bar{w} = \frac{w}{l}. \quad (2)$$

Сделаем замену переменных (2) в уравнении (1) и разделим обе части уравнения (1) на $(EJ)/l^3$. Оставляя за безразмерными переменными такие же обозначения, какие были у исходных переменных, получим

$$\frac{(m_0 + m_*) U^2 l^2}{EJ} \ddot{\bar{w}}(\bar{x}, \bar{t}) + \bar{w}''''(\bar{x}, \bar{t}) + \frac{(N + m_* U^2) l^2}{EJ} \bar{w}''(\bar{x}, \bar{t}) + \frac{2U^2 l^2 m_*}{EJ} \dot{\bar{w}}'(\bar{x}, \bar{t}) + \frac{\alpha U}{EJ} \dot{\bar{w}}''''(\bar{x}, \bar{t}) - \frac{\beta U^2}{EJ} \ddot{\bar{w}}''(\bar{x}, \bar{t}) - \frac{\theta_0 l^3}{2EJ} \bar{w}''(\bar{x}, \bar{t}) \int_0^1 \bar{w}'^2(\bar{x}, \bar{t}) d\bar{x} - \frac{\theta_* U l^2}{EJ} \bar{w}''(\bar{x}, \bar{t}) \int_0^1 \bar{w}'(\bar{x}, \bar{t}) \dot{\bar{w}}'(\bar{x}, \bar{t}) d\bar{x} + \frac{l^3}{EJ} f(\bar{x}, \bar{t}) = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим задачу построения управляющего воздействия $f(x, t)$, обеспечивающего гашение возникающих колебаний трубопровода в случае, когда значениям исходных параметров уравнения соответствует состояние динамической неустойчивости [5, 6].

Задача. Найти для случая динамической неустойчивости уравнения (3) непрерывное (далее допустимое) управляющее воздействие $f(x, t)$, такое, что соответствующее ему нулевое решение уравнения $w(x, t) = 0$ будет асимптотически устойчивым.

В начальный момент времени $t = 0$ деформация и скорость точек трубопровода задаются равенствами:

$$\begin{aligned} w(x, 0) &= \sqrt{2} c_1 \sin(\pi x) + \sqrt{2} c_2 \sin(2\pi x), \quad x \in [0, 1], \\ \dot{w}(x, 0) &= \sqrt{2} c_3 \sin(\pi x) + \sqrt{2} c_4 \sin(2\pi x), \quad x \in [0, 1], \end{aligned} \quad (4)$$

где c_1 , c_2 , c_3 , c_4 – некоторые заданные постоянные.

3. Построение решений

Для построения решений уравнения (3) методом Галёркина будем задавать функцию $w(x, t)$ в виде [4]

$$w_M(x, t) = \sum_{k=1}^M v_k(t) g_k(x),$$

где $\{g_k(x)\}_1^\infty$ – полная на $[0, 1]$ система нормированных базисных функций, соответствующих случаю шарнирного закрепления концов трубопровода

$$w(0, t) = w(1, t) = w''(0, t) = w''(1, t) = 0.$$

Возьмём в качестве базисных функций $\{g_k(x)\}_1^\infty = \sqrt{2} \sin(k\pi x)$ и ограничимся случаем $M = 2$, тогда функция $w(x, t)$ запишется следующим образом:

$$w(x, t) = \sqrt{2} v_1(t) \sin(\pi x) + \sqrt{2} v_2(t) \sin(2\pi x). \quad (5)$$

Зададим управляющее воздействие функцией

$$f(x, t) = \sqrt{2} u_1(t) \sin(\pi x) + \sqrt{2} u_2(t) \sin(2\pi x), \quad (6)$$

где $u_1(t)$, $u_2(t)$ – некоторые непрерывные функции (далее управления), обеспечивающие решение поставленной задачи.

В результате применения процедуры метода Галёркина получаем систему из двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для функций $v_1(t)$ и $v_2(t)$:

$$\begin{aligned} \frac{U^2((m_0 + m_*)l^2 + \pi^2\beta)}{EJ} \ddot{v}_1(t) + \frac{\pi^4 U \alpha}{EJl} \dot{v}_1(t) - \frac{\pi^2((U^2 m_* + N)l^2 - \pi^2 EJ)}{EJ} v_1(t) - \frac{16 U^2 l^2 m_*}{3 EJ} \dot{v}_2(t) + \\ + \frac{\pi^4 l^2}{EJ} \left(U \theta v_1(t) \dot{v}_1(t) + 4U \theta v_2(t) \dot{v}_2(t) + \frac{l \theta_0}{2} v_1^2(t) + 2l \theta_0 v_2^2(t) \right) v_1(t) + \frac{l^3}{EJ} u_1(t) = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{U^2((m_0 + m_*)l^2 + 4\pi^2\beta)}{EJ} \ddot{v}_2(t) + \frac{16\pi^4 U \alpha}{EJl} \dot{v}_2(t) - \frac{4\pi^2((U^2 m_* + N)l^2 - 4\pi^2 EJ)}{EJ} v_2(t) + \frac{16 U^2 l^2 m_*}{3 EJ} \dot{v}_1(t) + \\ + \frac{4\pi^4 l^2}{EJ} \left(U \theta v_1(t) \dot{v}_1(t) + 4U \theta v_2(t) \dot{v}_2(t) + \frac{l \theta_0}{2} v_1^2(t) + 2l \theta_0 v_2^2(t) \right) v_2(t) + \frac{l^3}{EJ} u_2(t) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Начальные условия (4) при этом принимают вид

$$v_1(0) = c_1, v_2(0) = c_2, \dot{v}_1(0) = c_3, \dot{v}_2(0) = c_4. \quad (9)$$

Управления $u_1(t)$ и $u_2(t)$ представим в виде суммы двух слагаемых:

$$u_k(t) = u_k^h(t) + u_k^n(t), \quad k = 1, 2.$$

С помощью линеаризующего управления $u_k^h(t)$ преобразуем k -е уравнение к линейному уравнению 2-го порядка с постоянными коэффициентами относительно функции $v_k(t)$. А управление $u_k^n(t)$ выберем так, чтобы соответствующее полученному линейному уравнению нулевое решение уравнения $v_k(t) = 0$ было асимптотически устойчивым.

Зададим управления $u_1^h(t)$ и $u_2^h(t)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} u_1^h(t) &= \left(-\frac{\pi^4}{l} \right) \left(U \theta v_1(t) \dot{v}_1(t) + 4U \theta v_2(t) \dot{v}_2(t) + \frac{l \theta_0}{2} v_1^2(t) + 2l \theta_0 v_2^2(t) \right) v_1(t) + \frac{16 U^2 m_*}{3 l} \dot{v}_2(t), \\ u_2^h(t) &= \left(-\frac{4\pi^4}{l} \right) \left(U \theta v_1(t) \dot{v}_1(t) + 4U \theta v_2(t) \dot{v}_2(t) + \frac{l \theta_0}{2} v_1^2(t) + 2l \theta_0 v_2^2(t) \right) v_2(t) - \frac{16 U^2 m_*}{3 l} \dot{v}_1(t), \end{aligned}$$

тогда система уравнений (7), (8) сводится к двум отдельным линейным дифференциальным уравнениям 2-го порядка с постоянными коэффициентами. Каждое из полученных уравнений, рассматриваемое совместно с начальными условиями (9), представляет собой задачу Коши и может быть решено методом Лапласа. Метод Лапласа позволяет найти явно функции $v_1(t)$, $v_2(t)$, подставляя которые

в равенство (5) получаем функцию прогиба трубопровода $w(x,t)$ в явном виде, что значительно облегчает проверку точности решения. Вычисляя производные от функции $w(x,t)$ и подставляя их в уравнение (3), получаем невязку $E(x,t)$, по величине которой оцениваем погрешность найденного решения.

4. Исследование устойчивости и управляемости

Для изучения устойчивости и управляемости приведём каждое из полученных линейных уравнений 2-го порядка к системе двух линейных уравнений 1-го порядка в нормальном виде. Введём новые переменные

$$y_1 = v_1(t), \quad y_2 = \dot{v}_1(t), \quad y_3 = v_2(t), \quad y_4 = \dot{v}_2(t),$$

тогда получаем

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2, \\ \dot{y}_2 = \frac{\pi^2 l \left((U^2 m_* + N) l^2 - \pi^2 E J \right) y_1 - \pi^4 U \alpha y_2 - l^4 u_1^*(t)}{U^2 l \left((m_0 + m_*) l^2 + \pi^2 \beta \right)}, \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \dot{y}_3 = y_4, \\ \dot{y}_4 = \frac{4\pi^2 l \left((U^2 m_* + N) l^2 - 4\pi^2 E J \right) y_3 - 16\pi^4 U \alpha y_4 - l^4 u_2^*(t)}{U^2 l \left((m_0 + m_*) l^2 + 4\pi^2 \beta \right)}. \end{cases} \quad (11)$$

Пусть

$$\dot{\mathbf{y}} = A\mathbf{y} + b\mathbf{u} \quad (12)$$

– линейная система, записанная в матричном виде, где для системы (10) $\mathbf{y} = (y_1, y_2)^*$, $k = 1$, для системы (11) $\mathbf{y} = (y_3, y_4)^*$, $k = 2$ и

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k^2 \pi^2 \left((U^2 m_* + N) l^2 - k^2 \pi^2 E J \right)}{U^2 \left((m_0 + m_*) l^2 + k^2 \pi^2 \beta \right)} & -\frac{k^4 \pi^4 \alpha}{U l \left((m_0 + m_*) l^2 + k^2 \pi^2 \beta \right)} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{(-1) l^3}{U^2 \left((m_0 + m_*) l^2 + k^2 \pi^2 \beta \right)} \end{pmatrix},$$

* – знак транспонирования.

Составим характеристическое уравнение для каждой из систем и найдём его корни. Имеем

$$\lambda = -\frac{k^4 \pi^4 \alpha p}{2l} \pm \sqrt{\frac{k^4 \pi^4 \alpha^2 p^2}{4l^2} + \frac{k^2 p \left((U^2 m_* + N) l^2 - k^2 \pi^2 E J \right)}{U}}, \quad p = \frac{\pi^2}{U \left((m_0 + m_*) l^2 + k^2 \pi^2 \beta \right)}, \quad k = 1, 2.$$

Поскольку $p > 0$, $U > 0$, то корни характеристических уравнений будут иметь отрицательные вещественные части, если

$$\left((U^2 m_* + N) l^2 - k^2 \pi^2 E J \right) > 0. \quad (13)$$

В этом случае решения систем уравнений (10), (11) будут асимптотически устойчивыми. Если заменить в неравенстве (13) знак неравенства на знак равенства, то получим два действительных корня

$$\lambda_1 = 0, \quad \lambda_2 = -\frac{k^4 \pi^2 \alpha p}{l}$$

и устойчивость решений рассматриваемых систем. Следовательно, равенство

$$\left((U^2 m_* + N) l^2 - k^2 \pi^2 E J \right) = 0$$

описывает линию, отделяющую область асимптотической устойчивости от области неустойчивости для систем (10) и (11). Выразим из него скорость движения жидкости (газа) U через длину трубы между опорами l

$$U(l) = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{k^2 \pi^2 E J - l^2 N}{m_*}}.$$

Будем в дальнейшем полагать, что постоянные в уравнении (1) заданы следующим образом:

$$m_0 = 8.45 \text{ кг}, m_* = 6.65 \text{ кг}, E = 210 \cdot 10^9, J = 14 \cdot 10^{-7}, N = 1500, \alpha = 0.2, \beta = 0.5.$$

На рис. 1 изображены графики функций $U1(l) = U(l)$ при $k = 1$ и $U2(l) = U(l)$ при $k = 2$.

При этом областью асимптотической устойчивости на рис. 1 является часть плоскости, лежащая ниже кривых $U1(l)$ и $U2(l)$.

Возьмём для примера точку $l = 20, U = 30$ на рис. 1, $U1(20) = 26.628$, лежащую в области неустойчивости решений системы уравнений (10). При заданных значениях параметров и нулевых управлениях $u_1(t) = 0, u_2(t) = 0$, среди характеристических чисел матрицы системы линейного приближения для исходной нелинейной системы (7), (8) имеются характеристические числа с положительной действительной частью. Это влечёт за собой неустойчивость решений системы (7), (8), а после подстановки найденных функций $v_1(t) = y_1, v_2(t) = y_3$ в равенство (5) для прогиба пластины, динамическую неустойчивость решений уравнения (3).

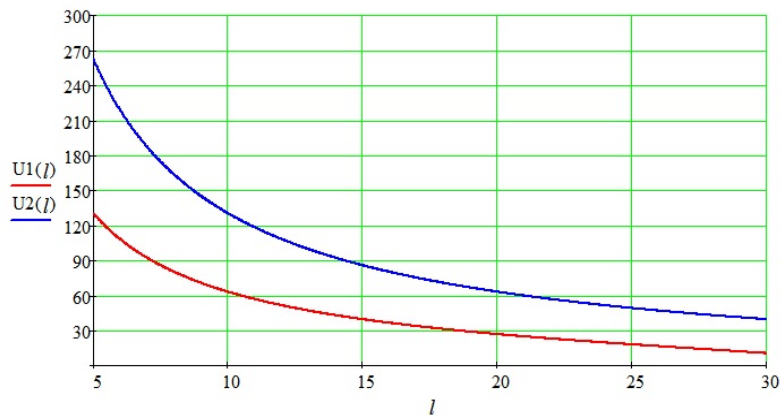


Рис. 1. Функция $U(l)$ при $k = 1$ и при $k = 2$

В результате под действием линеаризующих управлений $u_1^h(t), u_2^h(t)$ при заданных значениях параметров системы точкам, лежащим в области асимптотической устойчивости на рис. 1, соответствует динамическая устойчивость, а точкам из области неустойчивости – динамическая неустойчивость трубопровода.

Рассмотрим для случая динамической неустойчивости возможность построения стабилизирующего управления. Для этого исследуем полученную линейную систему (12) на управляемость, используя достаточное условие управляемости линейных систем.

Так как при $l \neq 0$

$$\det\{b, Ab\} = \frac{(-1)l^6}{U^4 \left((m_0 + m_*)l^2 + k^2 \pi^2 \beta \right)^2} \neq 0,$$

то $\text{rank}\{b, Ab\} = 2$ при $l \neq 0$ и линейные системы (10), (11) управляемы, что означает для линейной системы возможность построения стабилизирующего управления.

5. Стабилизация нулевого прогиба трубопровода

Покажем один из возможных способов построения стабилизирующего управления для системы линейных уравнений (11), записанной в матричном виде (12) при $l = 20, U = 30$. Для системы (10) алгоритм построения такой же. Будем искать управление $u(t)$ в виде сложной функции $u(y(t))$, зависящей от переменных y_1, y_2 , которые в свою очередь зависят от безразмерного времени t . Тогда линейная система уравнений (12) после подстановки управления $u(y) = e^* y$ примет вид

$$\dot{y} = (A + b e^*) y, \tag{14}$$

где $e = (e_1, e_2)^*$ – некоторый постоянный вектор. Используя подходящий вектор e , можно изменить значения характеристических чисел матрицы системы. Если в результате подстановки

управления $u(\mathbf{y})$ действительные части всех характеристических чисел матрицы $(A + b\mathbf{e}^*)$ станут отрицательными, то решения линейной системы (12) будут асимптотически устойчивые, что приведёт к асимптотической устойчивости нулевого решения $w(x,t) = 0$ уравнения (3).

Таким образом, задачу стабилизации нулевого прогиба трубопровода $w(x,t) = 0$ для полученной после преобразования Галеркина системы (12) можно переформулировать следующим образом.

Задача *. Найти для системы (12) допустимое управление $u(\mathbf{y})$, такое, что соответствующее ему решение системы $y_1 = 0, y_2 = 0$ будет асимптотически устойчивым.

В системе уравнений (12) сделаем замену переменных:

$$\mathbf{z} = T\mathbf{y}, \text{ где } T = \{b, Ab\}, \mathbf{z} = (z_1, z_2)^*.$$

Получаем:

$$\dot{\mathbf{z}} = P\mathbf{z} + d u,$$

где $P = T^{-1}AT, d = T^{-1}b, d = (1, 0)^*$. Или более подробно:

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -61.91194 \\ 1 & -0.00009 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} u. \quad (15)$$

Стабилизирующее управление для системы (12) будем строить [9] по формуле

$$u(\mathbf{y}) = \mathbf{e}^* \mathbf{y}, \mathbf{e} = T^{(-1)*} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ p_1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} (\mathbf{p} - \mathbf{h}), \quad (16)$$

где $\mathbf{p} = (0.00009, 61.91194)^*$ – последний столбец матрицы P в системе (15), взятый с противоположным знаком, а \mathbf{h} – вектор коэффициентов характеристического уравнения

$$\lambda^2 + h_1\lambda + h_2 = 0$$

для системы (14).

Обозначим корни характеристического уравнения через $\lambda_{1,2} = \varphi \pm \psi i$. Находим компоненты вектора \mathbf{e} коэффициентов управления $u(\mathbf{y})$, вычисляя их явно с помощью математического пакета для ЭВМ по формуле (16). Получив явный вид вектора \mathbf{e} коэффициентов управления, как функции переменных φ, ψ , рассмотрим задачу о минимизации нормы стабилизирующего управления с обратной связью, где

$$\|u\| = \sup_y \frac{|u(\mathbf{y})|}{\|\mathbf{y}\|} = \|\mathbf{e}\| = \sqrt{e_1^2(\varphi, \psi) + e_2^2(\varphi, \psi)}.$$

Будем искать $\min_{\varphi \leq -1} \|u\| = \min_{\varphi \leq -1} (e_1^2(\varphi, \psi) + e_2^2(\varphi, \psi))^{1/2}$ не только по действительной части φ , но и по мнимой части ψ корней характеристического уравнения системы. Минимум $\|u\|$ ищем в замкнутой области $D: -300 \leq \varphi \leq -1, -5000 \leq \psi \leq 5000$ методом сопряжённых градиентов, начиная спуск с точки $\varphi = -1, \psi = -500$.

Получаем $\min_D \|u\| = 1.1265 \cdot 10^8$ при $\varphi = -7.724116, \psi = 0.5$.

Для асимптотической устойчивости возьмём в качестве корней характеристического уравнения $\lambda_{1,2} = -7.724116 \pm 0.5i$, тогда вектор $\mathbf{h} = (-15.448, 59.912)^*$. Вычисляя по формуле (16), получим стабилизирующее управление для системы (11):

$$u(\mathbf{y}) = -1362.722148 y_3 + 10525.90602 y_4.$$

Аналогичным образом получим стабилизирующее управление для системы (10):

$$u(\mathbf{y}) = 812.623756 y_1 + 1359.405679 y_2.$$

Подставляя найденные управления в системы (10), (11) и решая их методом Лапласа, находим функции

$$y_1 = v_1(t) = e^{(-1)t} (0.02 \cosh(0.0000389t) + 1284.521078 \sinh(0.0000389t)),$$

$$y_3 = v_2(t) = e^{(-7.724116)t} ((-0.03) \cos(0.49999987t) - 0.443447 \sin(0.49999987t)),$$

управления

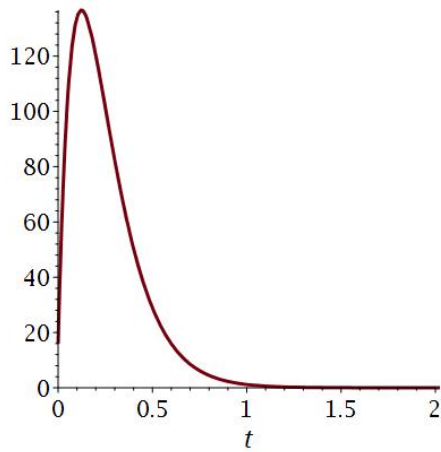


Рис. 2. Управление $u_1^h(t)$

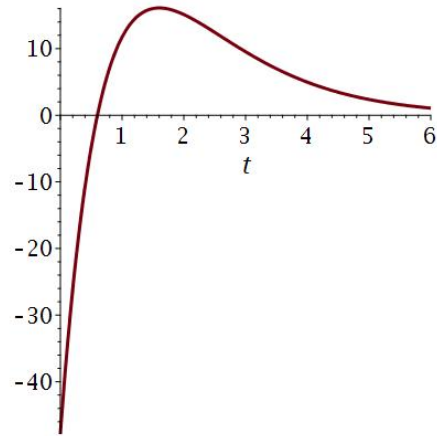


Рис. 3. Управление $u_2^h(t)$

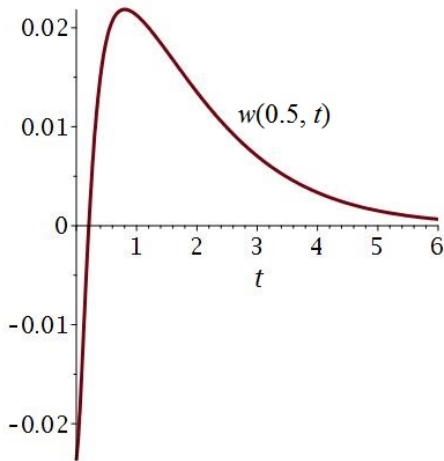


Рис. 4. Колебание точки $x = 10$ м

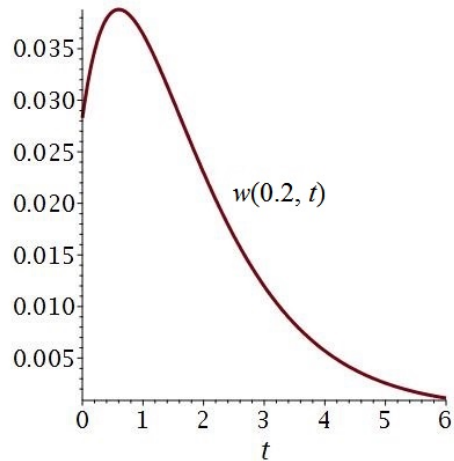


Рис. 5. Колебание точки $x = 4$ м

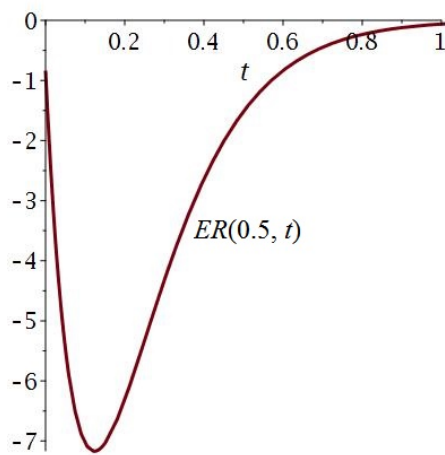


Рис. 6. Погрешность для $x = 10$ м

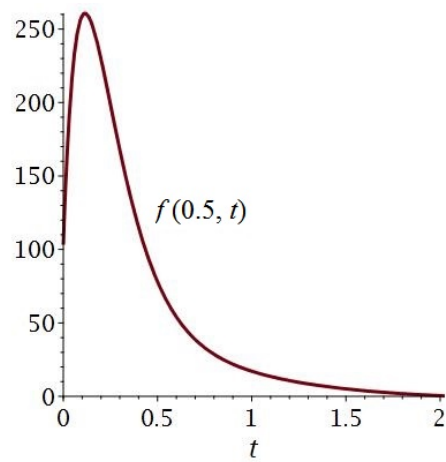


Рис. 7. Управляющее воздействие для $x = 10$ м

$$u_1^n(t) = e^{(-1)t} (57.03465 \cosh(0.0000389t) + 702352.9017 \sinh(0.0000389t)),$$

$$u_2^n(t) = e^{(-7.724116)t} (146.14073 \cos(0.49999987t) + 36815.9039 \sin(0.49999987t)).$$

Затем находим в явном виде линеаризующие управления $u_1^h(t)$, $u_2^h(t)$ и из равенств (5), (6) получаем прогиб пластины $w(x,t)$ и управляющее воздействие $u(t)$.

На рис. 2, рис. 3 изображены графики линеаризующих исходную систему управлений. На рис. 4 – рис. 6. приведены результаты численного моделирования применения построенных управлений при заданных параметрах для случая, когда в начальный момент времени $t = 0$ с деформация и скорость точек пластины задаются равенствами (4) с константами

$$c_1 = 0.02, \quad c_2 = -0.03, \quad c_3 = 0.03, \quad c_4 = 0.01.$$

На рис. 4 и рис. 5 изображены графики функции $w(x,t)$ при $x = 0.5$ и при $x = 0.2$ в безразмерных единицах, что соответствует расстоянию 10 м и 4 м от левой опоры.

Несмотря на то, что при подстановке пробных функций $v_1(t)$, $v_2(t)$ в уравнения (7), (8) получается невязка не более порядка 10^{-8} , дальнейшее вычисление невязки для исходного уравнения (3) приводит к накоплению вычислительной погрешности. На рис. 6 изображена невязка $ER(x,t)$ при $x = 0.5$, которая получена путём подстановки найденной функции $w(x,t)$ и управляющего воздействия $f(x,t)$ в уравнение (3). Видим, что с течением времени невязка $ER(x,t)$ быстро уменьшается до нуля, следовательно, стабилизирующее управление компенсирует возникающие изначально вычислительные погрешности. График управляющего воздействия $f(x,t)$ для середины трубопровода $x = 0.5$ представлен на рис. 7.

В статье показано одно из возможных решений задачи управления динамикой трубопровода на основе метода Галёркина. Для повышения точности построения стабилизирующего управления в рамках изложенного алгоритма без особых затруднений может быть увеличено количество пробных функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольмир А. С. Устойчивость упругих систем. – Москва : Физматгиз, 1963. – 880 с.
2. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1972. – 432 с.
3. Челомей С.В. О динамической устойчивости упругих систем // Докл. АН СССР. Серия «Механика». – 1980. – Т. 252, №2. – С. 307–310.
4. Вельмисов П. А., Логинов Б. В., Милушева С. Д. Исследование устойчивости трубопровода // Приложение на математиката в техниката: Сб. доклады и научни съобщения. XXI национална школа. Болгария, Варна, 1995. – С. 299–304.
5. Вельмисов П. А., Корнеев А. В. Математическое моделирование в задаче о динамической устойчивости трубопровода // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 1(39). – С. 63–73.
6. Вельмисов П. А., Корнеев А. В., Киреев С. В. Исследование динамической устойчивости трубопровода // Журнал Средневолжского математического общества. – 2016. – Т. 18, №2. – С. 106–114.
7. Вельмисов П. А., Гладун А. В. Об управлении динамикой трубопровода // Журнал Средневолжского математического общества. – 2016. – Т. 18, № 4. – С. 89–97.
8. Вельмисов П. А., Гладун А. В. Об управлении динамикой трубопровода в случае его динамической неустойчивости // Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании: материалы XIII Международной научной конференции. (Саранск, 12–16 июля 2017 г.). – Саранск: СВМО, 2017. – С. 381–390. Режим доступа: <http://conf.svmo.ru/files/deamm2017/papers/paper54.pdf>.
9. Красовский Н. Н. Теория управления движением. – Москва : Наука, 1968. – 476 с.

REFERENCES

1. Volmir A. S. *Ustoychivost uprugikh system* [Stability of Elastic Systems]. – Moscow: Fizmatgiz, 1963. 880 p.
2. Volmir A. S. *Nelinejnaya dinamika plastinok i obolochek* [Nonlinear Dynamics of Plates and Shells]. – Moscow: *Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury izdatelstva «Nauka»*, 1972. 432 p.
3. Chelomei S. V. *O dinamicheskoy ustoychivosti uprugikh sistem* [On the Dynamic Stability of Elastic Systems]. // Academy of Sciences of the USSR. Series «Mechanics». 1980. Vol. 252, no. 2, pp. 307–310.
4. Velmisov P. A., Loginov B. V., Milusheva S. D. *Issledovanie ustoychivosti truboprovoda* [Investigation of the stability of the pipeline] // Application of mathematics in the technician: Sat. Report and study of the message. XXI National School. Bulgaria. Varna. 1995, pp. 299–304.
5. Velmisov P. A., Korneev A. V. *Matematicheskoe modelirovanie v zadache o dinamicheskoy ustoychivosti truboprovoda* [Mathematical modeling in the problem of dynamic stability of a pipeline]. // *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of control processes]. 2015. no. 1 (39), pp. 63–73.
6. Velmisov P. A., Korneev A. V., Kireev S. V. *Issledovanie dinamicheskoy ustoychivosti truboprovoda* [Investigation of the dynamic stability of the pipeline] // *Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva* [Middle-Volga Mathematical Society Journal]. 2016. Vol. 18. no 2, pp. 106–114.
7. Velmisov P. A., Gladun A. V. *Ob upravlenii dinamikoy truboprovoda* [About control of pipeline dynamics] // *Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva* [Middle-Volga Mathematical Society Journal]. 2016. Vol. 18. no. 4, pp. 89–97.
8. Velmisov P. A., Gladun A. V. *Ob upravlenii dinamikoy truboprovoda v sluchae ego dinamicheskoy neustojchivosti* [On control of dynamic of a pipeline in the case of its dynamic instability] // *Differentsialnye uravneniya i ih prilozheniya v matematicheskom modelirovanii: materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii* [Proceedings of the XIII International scientific conference “Differential equations and their applications in mathematical modelling”]. (Saransk, July 12–16, 2017). Saransk: Middle-Volga Mathematical Society, 2017, pp. 381–390. Access mode: http://conf.svmo.ru/files/deamm2017/papers/paper_54.pdf.
9. Krasovsky N. N. *Teoriya upravleniya dvizheniem. Lineynye sistemy* [Theory of Motion Control. Linear Systems]. Moscow: Nauka, 1968. 476 p.

•••••

Гладун Алексей Владимирович, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, кандидат физико-математических наук, aleksygladun@gmail.com

Вельмисов Пётр Александрович, профессор кафедры «Высшая математика» инженерно-экономического факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», доктор физико-математических наук, профессор, velmisov@ulstu.ru

Поступила 13.05.2019 г.

УДК 519.217.3

В. Е. ДЕМЕНТЬЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА МАКСИМИЗАЦИИ ОЖИДАНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВАЖДЫ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрен способ идентификации дважды стохастической модели, основанный на комбинации псевдоградиентных процедур и байесовского подхода в рамках метода максимизации ожиданий. Показана теоретическая состоятельность подхода и получены важные частные соотношения, позволяющие проводить идентификацию параметров для простых случаев дважды стохастической авторегрессионной модели.

Ключевые слова: дважды стохастическая модель, идентификация параметров, кратные корни, случайные последовательности, случайные поля, корреляционная функция.

Результаты получены при поддержке гранта РФФИ №18-47-730009.

Необходимым этапом исследования окружающих нас объектов и систем таких объектов является построение их математических моделей. Важной составляющей математического моделирования является решение задачи идентификации или подгонки параметров математической модели под реальные сигналы. Возможность и обоснованность такой идентификации являются существенным преимуществом при практическом использовании предлагаемого математического описания. В настоящей работе рассматриваются вопросы идентификации параметров дважды стохастических моделей, которые являются адекватным вариантом описания пространственно неоднородных многомерных изображений и их временных последовательностей.

Рассмотрим следующую многомерную авторегрессионную (АР) математическую модель случайного поля (СП), заданного на прямоугольной N -мерной сетке $J = \{\bar{i} = (i_1, i_2, \dots, i_N) : (i_k = 1, 2, \dots, M_k), k = 1, 2, \dots, N\}$:

$$x_{\bar{i}} = \alpha_{\bar{i}} + \sum_{\bar{j} \in D_{\bar{i}}} \rho_{\bar{i}, \bar{j}} x_{\bar{j}} + \beta_{\bar{i}} \xi_{\bar{i}}, \bar{i}, \bar{j} \in \Omega, \quad (1)$$

где $X = \{x_{\bar{i}}, \bar{i} \in \Omega\}$ – моделируемое СП, определённое на J , $\{\rho_{\bar{i}, \bar{j}}, \alpha_{\bar{i}}, \beta_{\bar{i}} : \bar{i}, \bar{j} \in J, \bar{j} \in D_{\bar{i}}\}$ – коэффициенты модели; $\Xi = \{\xi_{\bar{i}}, \bar{i} \in J\}$ – порождающее белое СП; $D_{\bar{i}}$ – каузальная область локальных состояний для точки \bar{i} . Предположим, что коэффициенты $\rho_{\bar{i}, \bar{j}}$ и $\alpha_{\bar{i}}, \beta_{\bar{i}}$ данной модели являются случайными величинами (СВ), определяемыми следующими соотношениями:

$$\rho_{\bar{i}, \bar{j}} = \sum_{\bar{l} \in D_{\rho_{\bar{i}, \bar{j}}}} r_{\bar{l}, \bar{j}} \rho_{\bar{i}, \bar{l}} + \gamma_{\bar{l}, \bar{j}} \zeta_{\bar{l}, \bar{j}},$$

$$\alpha_{\bar{i}} = \sum_{\bar{l} \in D_{\alpha_{\bar{i}}}} r_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}} \alpha_{\bar{l}, \bar{j}} + \gamma_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}} \zeta_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}}; \beta_{\bar{i}} = \sum_{\bar{l} \in D_{\beta_{\bar{i}}}} r_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}} \beta_{\bar{l}, \bar{j}} + \gamma_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}} \zeta_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}}, \bar{i}, \bar{j} \in \Omega,$$

где $\{r_{\bar{l}, \bar{j}}, \gamma_{\bar{l}, \bar{j}}, r_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}}, \gamma_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}}, r_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}}, \gamma_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}}, \bar{l} \in \Omega, \bar{l} \in D_{\bar{i}}\}$ – постоянные коэффициенты; $D_{\rho_{\bar{l}, \bar{j}}}, D_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}}, D_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}}$ – области локальных состояний случайных полей $\{\rho_{\bar{l}, \bar{j}}\}$, $\{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}\}$ и $\{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}\}$; $\Sigma = \{\zeta_{\bar{l}, \bar{j}}, \bar{l}, \bar{j} \in \Omega\}$, $\Sigma_{\alpha} = \{\zeta_{\alpha_{\bar{l}, \bar{j}}}, \bar{l} \in \Omega\}$, $\Sigma_{\beta} = \{\zeta_{\beta_{\bar{l}, \bar{j}}}, \bar{l} \in \Omega\}$ – вспомогательные белое СП. Представленная модель называется дважды стохастической (ДС модель) [1], поскольку предполагает наличие вспомогательных случайных полей, которые используются для имитации основного случайного поля.

Важным частным случаем модели (1) является простейшая одномерная ДС модель, представляемая комбинацией двух АР уравнений первого порядка:

$$x_i = \tilde{\rho}_i x_{i-1} + \xi_i, \quad \rho_i = r \rho_{i-1} + \zeta_i, \quad \tilde{\rho}_i = \rho_i + m_{\rho}, \quad (2)$$

где ξ_i и ζ_i – независимые гауссовские СВ с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями σ_ξ^2 и σ_ζ^2 ; r – коэффициент корреляции внутренней последовательности $\{\rho_i, i = 1, 2, \dots, M\}$; m_p – среднее значение коэффициента корреляции основной модели.

Очевидной сложностью, возникающей при идентификации параметров ДС модели, является своеобразная «двухуровневость» этой модели, которая приводит к тому, что имеющиеся наблюдения зависят от параметров только опосредованно. Например, для простейшей ДС модели (2) наблюдаемые отчёты $\{x_i, i = 1, \dots, M_1\}$ зависят от параметра r только опосредованно с использованием вспомогательной случайной последовательности $\{\rho_i, i = 1, \dots, M_1\}$. Рассмотрим варианты преодоления указанной сложности.

Вначале отметим, что любую АР ДС модель (1) можно представить в виде тензорного стохастического уравнения:

$$X_{\bar{i}} = \varphi_{\bar{i}-1}(X_{\bar{i}}) + \xi_{\bar{i}},$$

где $X_{\bar{i}}$ – совокупность отсчётов основного и вспомогательных СП, связанных с точкой $\bar{i} \in J$, $\xi_{\bar{i}}$ – совокупность отсчётов нормальных случайных величин с ковариационной матрицей $V_{\bar{i}}$. В случае, если обозначить через θ совокупность всех параметров ДС модели, определяющих поведение ее реализаций, то можно записать следующее выражение для ПРВ $\varpi(X|\theta)$:

$$\varpi(X|\theta) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^\Sigma \prod_{\bar{i} \in J} \det V_{\bar{i}}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{\bar{i} \in J} (X_{\bar{i}} - \varphi_{\bar{i}-1}(X_{\bar{i}-1}, \theta)) V_{\bar{i}}^{-1} (X_{\bar{i}} - \varphi_{\bar{i}-1}(X_{\bar{i}-1}, \theta))^T \right\},$$

где $\Sigma = \text{mes} J \prod_{\bar{i} \in J} \text{mes} X_{\bar{i}}$, $\text{mes} X_{\bar{i}}$ – количество скалярных СВ, входящих в $X_{\bar{i}}$.

В последних выражениях для X и θ намеренно не используются векторные обозначения, чтобы подчеркнуть их многомерность.

Воспользуемся для получения оценки $\hat{\theta}$ методом максимального правдоподобия. Тогда после несложных преобразований:

$$\frac{d}{d\theta} \left(\log \left(\prod_{\bar{i} \in J} \det V_{\bar{i}} \right) \right) + \sum_{\bar{i} \in J} \frac{d}{d\theta} (X_{\bar{i}} - \varphi_{\bar{i}-1}(X_{\bar{i}-1}, \theta)) V_{\bar{i}}^{-1} (X_{\bar{i}} - \varphi_{\bar{i}-1}(X_{\bar{i}-1}, \theta))^T \Big|_{\theta=\hat{\theta}} = \bar{0}. \quad (3)$$

Полученные соотношения требуют знания вспомогательных случайных полей, использующихся при формировании $X_{\bar{i}}$. Для преодоления этой проблемы рассмотрим отдельно совокупность случайных величин $X = \{x_{\bar{i}}, \bar{i} \in J\}$, представляющих собой непосредственные наблюдения (например, отсчёты изображения) и совокупность случайных величин $Y = \{y_{k,\bar{i}}, \bar{i} \in J, k = 1, \dots, K\}$, определяющих поведение X в рамках ДС модели. Тогда имеет место следующее соотношение:

$$\varpi(X, Y|\theta) = \varpi(X|Y)\varpi(Y|\theta)$$

или эквивалентное равенство:

$$\log(\varpi(X, Y|\theta)) = \log(\varpi(X|Y)) + \log(\varpi(Y|\theta)).$$

Из последних равенств не очевидно, как определить необходимую для получения оценки $\hat{\theta}$ по имеющейся совокупности наблюдений X условную плотность $\varpi(X|\theta)$. Чтобы найти эту плотность, воспользуемся методом максимизации ожидания [2] и рассмотрим следующее равенство:

$$\log(\varpi(X|\theta = \theta')) = Q(\theta') + H(\theta'),$$

где $Q(\theta') = M\{\log(\varpi(X, Y|\theta)|Y = Y', \theta')\}$; $H(\theta') = -M\{\log(\varpi(X|Y, \theta)|Y = Y', \theta')\}$. Тогда $Q(\theta')$ является суррогатной функцией для максимизации $\varpi(X|\theta)$. Это означает, что если $Q(\theta'') > Q(\theta')$, то $\varpi(X|\theta'') > \varpi(X|\theta')$. Соответственно параметры $\hat{\theta}$, обеспечивающие максимум $Q(\theta)$, в то же самое время обеспечивают $\max_{\theta \in \Omega} \varpi(X|\theta)$, то есть являются решением поставленной задачи.

Для использования представленных результатов рассмотрим подробно $\varpi(X, Y|\theta)$ для ДС АР моделей. Вначале обратим внимание, что в силу особенностей ДС моделей СВ $y_{k_1, \bar{i}_1} y_{k_2, \bar{i}_2}$ являются независимыми при $k_1 \ll k_2$ для $\forall \bar{i}_1$ и \bar{i}_2 . Тогда

$$\varpi(X, Y|\theta) = \varpi(X|Y) \prod_{k=1}^K \varpi(Y_k|\bar{\theta}_k).$$

В последнем выражении $\bar{\theta}_k$ представляют собой векторы параметров, составляющих $\theta: \theta = \{\bar{\theta}_1, \bar{\theta}_2, \dots, \bar{\theta}_K\}$ и определяющих статистические и корреляционные свойства нормальных случайных величин Y_k .

С учётом введённых обозначений и особенностей ДС модели можно записать равенства:

$$\varpi(X|Y) \cong \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{\text{mes}(J)} \prod_{\text{mes}(J)} \det V_{\xi_{\bar{i}}}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{\bar{i} \in J} (\bar{x}_{\bar{i}} - \bar{\varphi}_{\bar{i}-1}(\bar{x}_{\bar{i}-1}, \bar{y}_{\bar{i}})) V_{\xi_{\bar{i}}}^{-1} (\bar{x}_{\bar{i}} - \bar{\varphi}_{\bar{i}-1}(\bar{x}_{\bar{i}-1}, \bar{y}_{\bar{i}}))^T \right\};$$

$$\varpi(Y_k|\bar{\theta}_k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{mes(J)} \Pi_{mes(J)} \det V_{\psi_{k,\bar{l}}}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{\bar{l} \in J} (\bar{y}_{k,\bar{l}} - \bar{\psi}_k(\bar{y}_{k,\bar{l}-1}, \bar{\theta}_k)) V_{\psi_{\bar{l}}}^{-1} (\bar{y}_{k,\bar{l}} - \bar{\psi}_k(\bar{y}_{k,\bar{l}-1}, \bar{\theta}_k))^T \right\}.$$

В последних выражениях $V_{\xi_{\bar{l}}}$, $V_{\psi_{k,\bar{l}}}$ – ковариационные тензоры СП $\{\xi_{\bar{j}}, \bar{j} \in D_{\bar{l}}\}$ и СП $\{\zeta_{k,\bar{j}}, \bar{j} \in D_{k,\bar{l}}\}$; $D_{\bar{l}}$ – каузальное окно основной модели, а $D_{k,\bar{l}}$ – каузальное окно k -й вспомогательной АР модели для точки \bar{l} .

Предположим, что относительно параметров θ мы можем сделать некоторые первоначальные предположения $\hat{\theta}^{(0)}$. В случае отсутствия таких предположений выберем отсчёты $\hat{\theta}^{(0)}$ случайным образом из множества возможных значений. Тогда, считая θ вектором известных параметров, используем байесовский критерий для определения оценок неизвестных $\bar{y}_{k,\bar{l}}$. Применяя простую функцию потерь, получим

$$\hat{Y}_{MAP}^{(0)} = \operatorname{argmin}_Y \{-\log \varpi(X/Y) - \log \varpi(Y)\} = \operatorname{argmin}_Y \{-\log \varpi(X/Y) - \sum_{k=1}^K \log \varpi(Y_k)\}.$$

После подставки выражений ПРВ $\varpi(X/Y)$ и $\varpi(Y_k)$ и с учётом того, что $\frac{d \log \varpi(Y_{k_1})}{d \bar{y}_{k_2, \bar{l}}} = 0$ при $k_1 \neq k_2$, получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} & \frac{d \log(\det V_{\xi_{\bar{l}}})}{d \bar{y}_{k,\bar{l}}} + \sum_{\bar{l} \in J} (\bar{x}_{\bar{l}} - \bar{\varphi}_{\bar{l}-1}(\bar{x}_{\bar{l}-1}, \bar{y}_{\bar{l}})) V_{\xi_{\bar{l}}}^{-1} \frac{d \bar{\varphi}_{\bar{l}-1}(\bar{x}_{\bar{l}-1}, \bar{y}_{\bar{l}})}{d \bar{y}_{k,\bar{l}}} \Big|_{\bar{y}_{k,\bar{l}} = \hat{y}_{MAP k, \bar{l}}^{(0)}} \\ & + \sum_{\bar{l} \in J} (\bar{y}_{k,\bar{l}} - \bar{\psi}_k(\bar{y}_{k,\bar{l}-1})) V_{\psi_{\bar{l}}}^{-1} \frac{d \bar{\psi}_k(\bar{y}_{k,\bar{l}-1})}{d \bar{y}_{k,\bar{l}}} \Big|_{\bar{y}_{k,\bar{l}} = \hat{y}_{MAP k, \bar{l}}^{(0)}} = 0, k = 1..K, \bar{l} \in J. \end{aligned} \quad (4)$$

Совокупность оценок $\hat{Y}_{MAP}^{(0)} = \{\hat{y}_{MAP k, \bar{l}}^{(0)}, k = 1.., K, \bar{l} \in J\}$, получаемых по результатам решения, обеспечивают равенство:

$$\varpi(X, \hat{Y}_{MAP}^{(0)} | \theta = \hat{\theta}^{(0)}) = M\{\varpi(X, Y | \theta) | Y = \hat{Y}_{MAP}^{(0)}, \hat{\theta}^{(0)}\}.$$

Тогда имеет место равенство:

$$Q(\hat{\theta}^{(0)}) = \log(\varpi(X, \hat{Y}_{MAP}^{(0)} | \theta = \hat{\theta}^{(0)})).$$

Задача поиска последующих наборов параметров $\hat{\theta}^{(t)}$, обеспечивающих условие $Q(\hat{\theta}^{(t)}) > Q(\hat{\theta}^{(t-1)})$, может быть решена на основе использования псевдоградиентной (ПГ) многопараметрической оптимизации. При этом

$$\hat{\theta}^{(t)} = \hat{\theta}^{(t-1)} - \Lambda^{(t)} \beta^{(t)},$$

где $\beta^{(t)}$ – псевдоградиент целевой функции, зависящий от $\hat{\theta}^{(t-1)}$ и номера итерации t ; $\Lambda^{(t)}$ – матрица усиления [4]. Для каждого из $\hat{\theta}^{(t)}$ и наблюдений X с помощью байесовского подхода решается задача поиска оценок $\hat{Y}_{MAP}^{(t)}$ (E-step). Далее в рамках псевдоградиентной релаксации (M-step) происходит поиск вектора оценок $\hat{\theta}^{(t+1)}$: $Q(\hat{\theta}^{(t+1)}) > Q(\hat{\theta}^{(t)})$. Указанные этапы повторяются до подтверждения сходимости псевдоградиентных процедур, обеспечивающих нахождение локального максимума $Q(\theta)$.

Приведём важный пример. Предположим, что имеется совокупность отсчётов $\{x_i, i = 1, \dots, M_1\}$ и известно, что указанная случайная последовательность сформирована в соответствии с моделью (2). Требуется наилучшим образом выполнить оценку неизвестного параметра r . Выберем вначале некоторое начальное значение оценки $\hat{r}^{(0)}$. Очевидно, что с учётом особенностей модели (2) $\hat{r}^{(0)}$ должен принадлежать интервалу $[0, 1]$. Тогда найдём наилучшие оценки $\{\hat{\rho}_{MAP i}^{(t)}, i = 1, \dots, M_1, t = 0\}$, исходя из предположения истинности $\hat{r}^{(0)}$ и системы (4). Получим систему линейных уравнений следующего вида:

$$\hat{\rho}_{MAP i}^{(t)} \left(\frac{1+r^2}{\sigma_{\xi}^2} + \frac{x_l^2}{\sigma_{\xi}^2} \right) - \frac{(\hat{\rho}_{MAP i+1}^{(t)} + \hat{\rho}_{MAP i-1}^{(t)})r}{\sigma_{\xi}^2} = \frac{x_l x_{l+1} - \rho_0 x_l^2}{\sigma_{\xi}^2}, l = 1, \dots, M_1.$$

Решение данной системы эквивалентно обращению трёхдиагональной матрицы. Выполнить это обращение можно с использованием метода обратной прогонки. При этом вспомогательные коэффициенты α_l, β_l определяются рекуррентно с помощью следующих соотношений:

$$\alpha_1 = \frac{r/\sigma_\xi^2}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_1^2}{\sigma_\xi^2}}; \beta_1 = \frac{\frac{x_1 x_2 - \rho_0 x_1^2}{\sigma_\xi^2}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_1^2}{\sigma_\xi^2}}; \alpha_{l+1} = \frac{\frac{r}{\sigma_\xi^2}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_l^2}{\sigma_\xi^2} - \frac{\alpha_l r}{\sigma_\xi^2}}; \beta_{l+1} = \frac{\frac{x_l x_{l+1} - \rho_0 x_l^2}{\sigma_\xi^2} + \beta_l \frac{r}{\sigma_\xi^2}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_l^2}{\sigma_\xi^2} - \frac{\alpha_l r}{\sigma_\xi^2}}.$$

А сами оценки $\hat{\rho}_{MAP l}, l = 1, \dots, M_1$ могут быть получены из обратной рекурсии:

$$\hat{\rho}_{MAP M_1}^{(t)} = \frac{\frac{r}{\sigma_\xi^2} \beta_{M_1}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_{M_1}^2}{\sigma_\xi^2} - \alpha_{M_1} \frac{r}{\sigma_\xi^2}}; \hat{\rho}_{MAP l}^{(t)} = \frac{\frac{r}{\sigma_\xi^2} \hat{\rho}_{MAP l+1}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_l^2}{\sigma_\xi^2} - \frac{\alpha_l r}{\sigma_\xi^2}} + \frac{\frac{x_l x_{l+1} - \rho_0 x_l^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{\beta_l r}{\sigma_\xi^2}}{\frac{1+r^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{x_l^2}{\sigma_\xi^2} - \frac{\alpha_l r}{\sigma_\xi^2}}$$

Обратим внимание на две особенности полученного частного результата. Во-первых, полученная с помощью байесовского подхода оценка $\hat{\rho}_{MAP l}^{(0)}$ отличается от оценки, которую можно получить с помощью метода максимального правдоподобия: $\hat{\rho}_{ML l} = \frac{x_l x_{l+1}}{x_l^2} - \rho_0$. Это, очевидно, связано с использованием в байесовском критерии априорной информации, недоступной частотному критерию. Во-вторых, получаемый результат носит рекуррентный характер, позволяя последовательно выполнять оценивание формирующего поля.

Рассчитаем теперь функцию $Q(\hat{r}^{(0)}) = -\log\left(\sqrt{(2\pi\sigma_\xi^2)^{M_1}}\right) - \log\left(\sqrt{(2\pi\sigma_\xi^2)^{M_1}}\right) - \sum_{l=1}^{N-1} \frac{(x_{l+1} - (\rho_0 + \hat{\rho}_{MAP l}^{(0)})x_l)^2}{\sigma_\xi^2} - \sum_{l=2}^N \frac{(\hat{\rho}_{MAP l}^{(0)} - \hat{r}^{(0)}\hat{\rho}_{MAP l-1}^{(0)})^2}{\sigma_\xi^2}$. В соответствии с представленными выше выводами наилучшая оценка \hat{r} обеспечивает наибольшее значение $Q(\hat{r}^{(0)})$ или наименьшее значение $Q'(\hat{r}^{(0)}) = \sum_{l=1}^{N-1} \frac{(x_{l+1} - (\rho_0 + \hat{\rho}_{MAP l}^{(0)})x_l)^2}{\sigma_\xi^2} + \sum_{l=2}^N \frac{(\hat{\rho}_{MAP l}^{(0)} - \hat{r}^{(0)}\hat{\rho}_{MAP l-1}^{(0)})^2}{\sigma_\xi^2}$. В связи с этим выберем теперь $\hat{r}^{(1)} = \hat{r}^{(0)} - \Lambda^{(0)}\beta^{(0)}$, так чтобы $Q'(\hat{r}^{(1)}) < Q'(\hat{r}^{(0)})$, и повторим процедуру определения оценок $\{\hat{\rho}_{MAP l}^{(1)}, l = 1..M_1\}$. Будем повторять указанные процедуры, пока не будет выполнено одно из условий сходимости, например, $\hat{r}^{(t)} - \hat{r}^{(t-1)} < L$ или $t > T$.

На рисунке 1 представлен процесс сходимости оценок $\hat{r}^{(t)}$ к истинному значению $r = 0.9$.

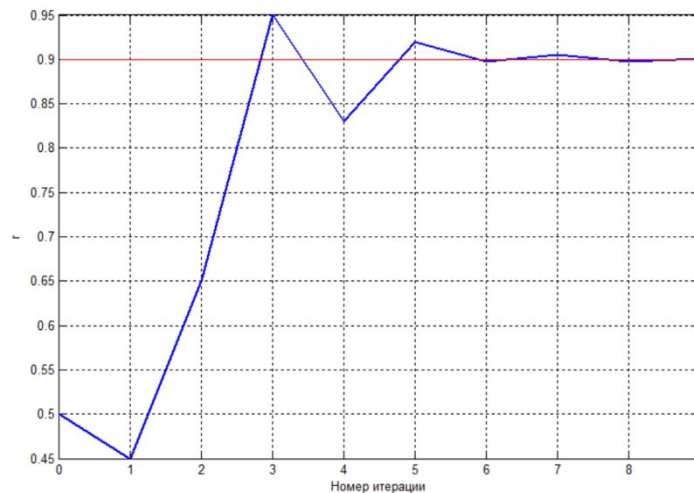


Рис. 1. Сходимость оценки $\hat{r}^{(t)}$

Прямой анализ представленного графика показывает высокое качество получаемой оценки и существенно более высокую скорость сходимости.

Таким образом, в настоящей работе предложен вариант оценивания параметров дважды стохастической модели на базе метода максимизации ожидания. Установлена практическая возможность реализации такого подхода и показана сходимость соответствующих оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Woods J. W., Dravida S., Mediavilla R. Image Estimation Using Doubly Stochastic Gaussian Random Field Models // Pattern Analysis and Machine Intelligence, issue №2, vol. 9 – February, 1987, pp. 245–253.
2. Charles A. Bouman. Model Based Imaging Processing. Purdue University, 2013, 414 pp.

3. Васильев К. К., Крашенинников В. Р. Статистический анализ изображений. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – 214 с.
4. Ташлинский А. Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений. – Ульяновск : УлГТУ, 2000. – 132 с.
5. Dementev V. E., Vasiljev K. K., Andriyanov N. A. Doubly stochastic models of images //Pattern Recognition and Image Analysis, January 2015, vol. 25, pp. 105–110.
6. Dementev V. E., Vasiljev K. K., Andriyanov N. A. Application of mixed models for solving the problems on restoring and estimating image parametrs //Pattern Recognition and Image Analysis. 2016. Т. 26, №1. 240 p.
7. Васильев К. К. Дементьев В. Е. Представление и обработка спутниковых многозональных изображений. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 247 с.

REFERENCES

1. Woods J. W., Dravida S., Mediavilla R. Image Estimation Using Doubly Stochastic Gaussian Random Field Models // Pattern Analysis and Machine Intelligence, issue №2, vol. 9 – February, 1987, pp. 245-253.
2. Charles A. Bouman. Model Based Imaging Processing. Purdue University, 2013, 414 pp.
3. Vasil'ev K. K., Krasheninnikov V. R. *Statisticheskij analiz izobrazhenij* [Statistical analysis of images]. Ul'yanovsk: UIGTU. 2014. 214 p.
4. Tashlinskij A. G. *Ocenivanie parametrov prostranstvennyh deformacij posledovatel'nostej izobrazhenij* [Estimation of parameters of spatial deformations of image sequences]. Ul'yanovsk: UIGTU. 2000. 132 p.
5. Dementev V. E., Vasiljev K. K., Andriyanov N. A. Doubly stochastic models of images //Pattern Recognition and Image Analysis, January 2015, vol. 25, pp. 105–110.
6. Dementev V. E., Vasiljev K. K., Andriyanov N. A. *Application of mixed models for solving the problems on restoring and estimating image parametrs* // Pattern Recognition and Image Analysis. 2016. Т. 26, №1. 240 p.
7. Vasil'ev K. K. Dement'ev V. E., *Predstavlenie i obrabotka sputnikovyh mnogozonal'nyh izobrazhenij* [Presentation and processing of satellite multispectral images]. Ul'yanovsk, 2017. 247 p.

•••••

Дементьев Виталий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Телекоммуникации» УлГТУ.

Поступила 05.03.2019 г.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 627.7.06

О. В. МИЛАШКИНА, М. ЦВЕТКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОДРОМА

Электросветотехнические (ЭСТ) системы современного аэродрома предназначены для обеспечения экипажу летательного аппарата (ЛА) безопасной посадки в аэропорту назначения при высоте ниже 50 метров, маневрирования по взлётно-посадочной полосе (ВПП). ЭСТ-системы делятся на светосигнальное оборудование (ССО), располагаемое на ВПП, и электротехническое оборудование, обеспечивающее питание ССО. ССО должно обеспечивать: световое обозначение взлётно-посадочной полосы, её участков и подходов; обозначение рулёжных дорожек (РД) и их расположение; управление движением по аэродрому.

Ключевые слова: огни высокой интенсивности (ОВИ), летательный аппарат (ЛА), взлётно-посадочная полоса (ВПП), светосигнальное оборудование (ССО), светодиодные LED Lights лампы.

Электротехническое оборудование ЭСТ-системы выполняет следующие функции [1]:

- электропитание подсистем ОМИ и ОВИ не менее чем по двум кабельным линиям, не менее чем от двух внешних независимых источников энергии, а при отсутствии – от электростанции аэропорта;
- обеспечение непрерывной работы ССО с допустимым временем перерыва в электропитании в пределах (1–60) секунд в зависимости от категории, а по некоторым потребителям – безотказно, автоматическое включение резервного питания, организация токовой защиты;
- дистанционное регулирование яркостью огней от двух регуляторов яркости с диспетчерских пунктов управления воздушным движением;
- автоматический контроль и индикация состояния ССО;
- обеспечение надёжности путём профилактических осмотров; процедур восстановления; контроль режимов; испытания и регулировки; текущие работы [3].

Основные устройства электротехнического оборудования ЭСТ-систем:

- тиристорный регулятор яркости (мощность 5–25 кВ•А – поддерживает неизменный ток в кабельном кольце);
- изолирующие трансформаторы при питании огней по последовательной схеме от общего

кабельного кольца (светотехническая система посадки М-2);

- компьютеризованный комплекс дистанционного управления – многопроводное устройство телеуправления – телесигнализации [2], контроль состояния и места повреждения;
- АПВ – автомат повторного включения (при замыкании проводов ЛЭП);
- распределительные щиты бесперебойного питания (переключение на резервный источник, индикация, автоматическое возвращение);
- кабельное хозяйство.

На зарубежных аэродромах, на основании норм International Civil Aviation Organization (ICAO) и Federal Aviation Administration, приняты три степени интенсивности ССО – RL, MIRL, HIRL (Low, Middle, High).

При этом разделяют [5]: REIL – ограничительные огни – в секторе 15 градусов; RAIL – огни входа в створ ВПП (бегущие); RAI – указатель створа ВПП; RCLM – центр ВПП; RLLS – подход к ВПП; GL – осевая ВПП; ALSF – огни подхода (проблесковые); CALLVERT – ОВИ.

Уникальной особенностью управления воздушным движением в зарубежных аэропортах является возможность пилота оперативно управлять интенсивностью свечения огней на поле аэродрома по радиоканалу с борта ЛА.

Ведущие мировые производители ССО предлагают широкий спектр аэродромных огней, как Approach Lights (приближения), Runway Lights (ВПП), Taxiway Lights (рулёжные

огни), Obstruction Lights (огни препятствий), глиссадные огни (PAPI – Precision Approach Path Indicators).

Аэродромные огни питаются переменным током постоянной амплитуды от тиристорного регулятора «Constant Current Regulator» мощностью 4–30 кВт, содержащего элементы защиты. Широко применяются светодиодные LED Lights белого, зелёного, красного цветов с током питания до 6.6 А, ресурсом до 50 000 часов и яркостью до 20 000 кд.

Также применяются плазменные лампы Plasma flat lamp (PFL) с ресурсом до 70 000 часов, до 24 дюймов по диагонали и яркостью до 15 000 кд/м² [13]. Светодиодные огни с солнечной подзарядкой «Solar LED» широко применяются на ВВП и РД [4].

Функция управления огнями с борта ЛА реализуется с помощью наземного приёмника – декодера L-854FM, принимающего сигнал от самолёта в диапазоне 118–136 МГц.

Электропитания аэродромных огней в зарубежной практике осуществляется по известной схеме последовательного включения через изолирующие трансформаторы, показанные на рисунке 1.

Сравнение ЭСТ-систем российского и зарубежного аэродромов

На базе сделанного обзора можно видеть, что принципы построения ЭСТ-систем в обоих случаях во многом совпадают – типы огней аналогичны, схемы их питания похожи, оборудование подобно.

ВПП и РД в обоих случаях идентичны. Основная схема электропитания аэродромных огней с помощью общего регулятора тока, токового контура и индивидуальных изолирующих трансформаторов, показанная на рисунке 1 для аэропорта Сингапура, аналогична применяемой в отечественных аэропортах [1], и в частности в Пулково.

Исходя из анализа рассмотренной литературы, перечисленной ниже, не найдены упоминания о применении в отечественной практике LED-ламп и системы дистанционного управления аэродромными огнями с борта самолёта.

Поэтому из наиболее ярких отличий организации ЭСТ-систем в рассмотренных аэропортах выделим следующее:

1. Весьма полезна возможность регулировать яркость наземных огней по радиоканалу пилотом из приземляющегося самолёта – как мера повышения безопасности полётов за счёт повышения наблюдаемости наземных целей;

2. Питание наземных огней стабилизированным током (переменным, но со стабильной амплитудой) существенно улучшает ситуацию с электромагнитной совместимостью различных радиотехнических систем на аэродроме, так как изменение амплитуды переменного тока питания огней ведёт к появлению и перераспределению интенсивных электромагнитных помех на поле аэродрома.

3. Применение светодиодных ламп в аэродромных огнях ведёт к существенному снижению энергопотребления.

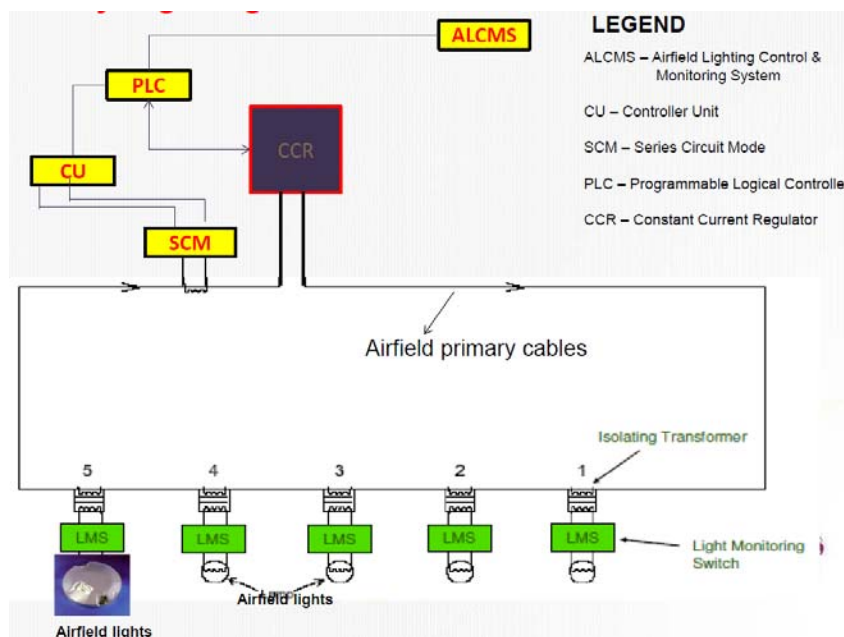


Рис. 1. Схема – диаграмма последовательного электропитания огней ВПП

4. Применение светодиодных светильников, заряжаемых от солнца, ещё больше снижает энергопотребление системой ЭСТ.

Проект элементов ЭСТ-оборудования с условием модернизации на примере зарубежного аэродрома

С учётом выявленных отличий спроектируем для российского аэродрома (например Пулково) новую электросветотехническую систему питания огней «светового горизонта», располагаемого в начале ВПП. Структура новой системы приведена на рисунке 2.

На рис. 2 показаны контроллер постоянной амплитуды тока, использующий ферромагнитную схему стабилизации, радиочастотный приёмник сигнала управления «Receiver – Decoder», который поступает по эфиру от самолёта, совершающего посадку, светодиодные светильники $L_1 - L_n$ на основе LED-технологии, устанавливаемые на поле аэродрома,

Кабельный канал, обеспечивающий последовательное включение огней, и изолирующие трансформаторы ИТ оставляем старыми, из действующей ныне системы электропитания.

Бортовая часть аппаратуры управления яркостью аэродромных огней пилотом с борта ЛА является принадлежностью самолёта, поставляется владельцами летательных аппаратов, к аэродромному оборудованию не относится и здесь поэтому не рассматривается.

Применение: Approach Light (приближение), Runway Threshold Light (граница ВПП), Runway

End Light (конец ВПП), Runway Wing Bar Light (границы размаха крыльев). Input power: 2.8~6.6 А (ток питания), Life time of Light: 50,000 hrs (ресурс), Minimum Average Intensity: 20,000 cd, (яркость) Chromaticity : White, Green, Red (цвет).

Расчёт стоимости модернизации (переоборудования ЭСТ-оборудования) отечественного аэродрома

Перечень работ, необходимых для создания новой системы, с указанием их трудоёмкости и стоимости, приведён в таблице 1.

Принимая официальное значение средней зарплаты по региону Санкт-Петербурга на уровне 51 тыс. рублей, берём стоимость одного человеко-месяца со стороны налоговых органов – 200 тысяч рублей.

В связи с тем, что цены на сертифицированное под нормы ИКАО авиационное оборудование являются предметом переговоров производителя с лицензированным заказчиком, которые недоступны на этапе обучения специалистов, в данном случае применён метод экспертных оценок стоимости оборудования, основанный на анализе доступной информации:

- контроллер постоянной амплитуды тока – 1000 тысяч рублей;
- ресивер – декодер управления яркостью с борта ЛА – 800 тысяч рублей;
- лампы LED (за 12 штук) – 600 тысяч рублей.

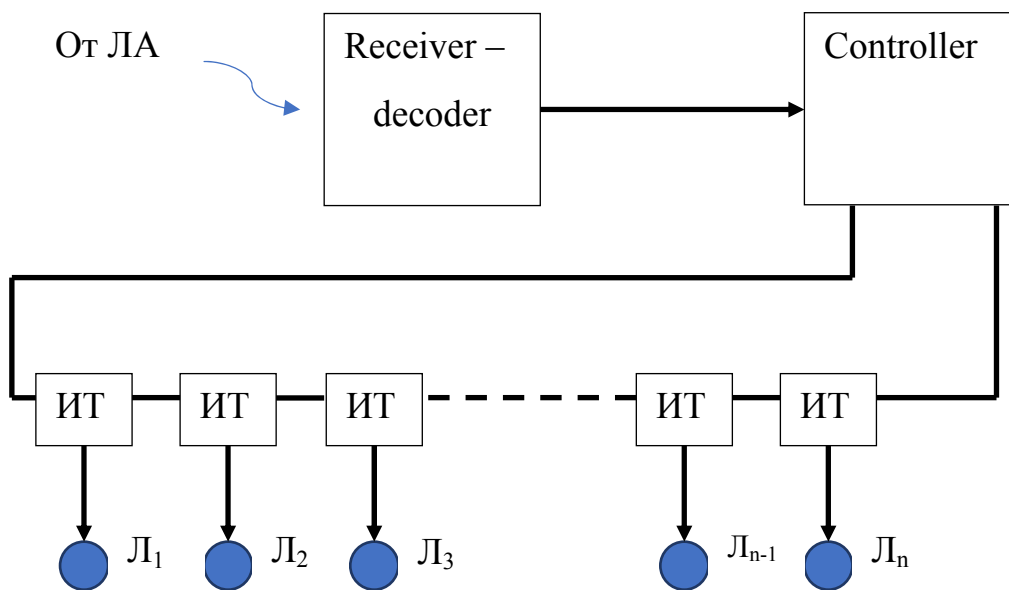


Рис. 2. Схема питания огней «светового горизонта», построенного на новых элементах

Перечень работ по созданию новой системы «светового горизонта»

Наименование работы	Оценка трудоёмкости работ [человек/месяц]	Оценка стоимости [тыс. руб.]
1. Разработка проектной документации	10	2000
2. Закупка оборудования	—	2400
3. Ревизия силового кабеля, изолирующих трансформаторов, шкафа гарантированного питания	5	1000
4. Монтаж нового оборудования в помещении	10	2000
5. Монтаж нового оборудования на поле аэродрома	10	2000
6. Настройка новой системы	5	1000
7. Испытания на соответствие нормам (собственные работы)	5	1000
8. Услуги сторонних организаций по сертификации	10	2000

Оценки показали следующие необходимые затраты с учётом данных, приведённых выше в таблице 1:

1. Проектные работы – 1 млн рублей;
 2. Стоимость оборудования – 2,4 млн рублей;
 3. Монтажные работы – 5 млн рублей;
 4. Настройка, испытания – 2 млн рублей;
 5. Сторонние организации (сертифицирующий центр) – 2 млн рублей;
- ИТОГО: 12,4 млн рублей

Оценки ожидаемого экономического эффекта (выгоды) от модернизации ЭСТ-оборудования российского аэродрома по примеру зарубежного

Экономический эффект от проведённой модернизации следует ожидать, прежде всего, от сокращения платы за электроэнергию – в среднем втрое по сравнению с традиционными лампами накаливания.

Кроме того, в связи с применением новой техники зарубежного изготовления вырастет ресурс безотказной работы созданной системы, что снизит эксплуатационные расходы.

Время окупаемости новой системы при существующих ценах на электроэнергию не превысит одного года.

Выводы

Предложенная модернизация светотехнического оборудования отечественного аэродрома по опыту зарубежного аналога служит положительной перспективой увеличения ресурса безотказной работы отечественных средств управления воздушным движением. Именно такой метод применяется повсеместно в отечественной промышленности, лишённой, на настоящем этапе, возможности собственного развития по многим причинам как исторического характера, так и субъективно-мотивировочного.

На базе выполненной работы при уточнении критериев модернизации может быть выполнен анализ любого отечественного аэродрома в сравнении с зарубежными аналогами для повышения общетехнического и организационного уровней эксплуатации.

Сравнение оборудования отечественного и зарубежного аэропортов показало высокий уровень совпадения применяемых технических решений.

Безусловное повышение безопасности полётов, достигаемое в данном случае за счёт увеличения надёжности оперативных решений, принимаемых экипажем самолета в напряжённой психо-эмоциональной обстановке режима посадки, повышает привлекательность подобных модернизаций и открывает дорогу для их широкого применения в отечественной практике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Минтранс РФ. Департамент воздушного транспорта. №ДВ-156/н от 29.11.93 О совершенствовании требований к лётным полосам гражданских аэродромов.

2. Аронов О. Н. Светотехническое оборудование аэродромов: методические указания. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2009.

3. Пособие по проектированию объектов светосигнального и электрического оборудования систем посадки воздушных судов в аэропортах/ МГА ВСН8-86.

4. Информация о светосигнальном оборудовании [Электронный ресурс]: URL: https://studopedia.ru/9_140415_glava--svetotekhnicheskoe-oborudovanie-aerodromov.html (дата обращения: 14.02.2018).

5. Информация о светосигнальном оборудовании [Электронный ресурс]: URL: <http://poznayka.org/s26457t1.html> (дата обращения: 14.02.2018).

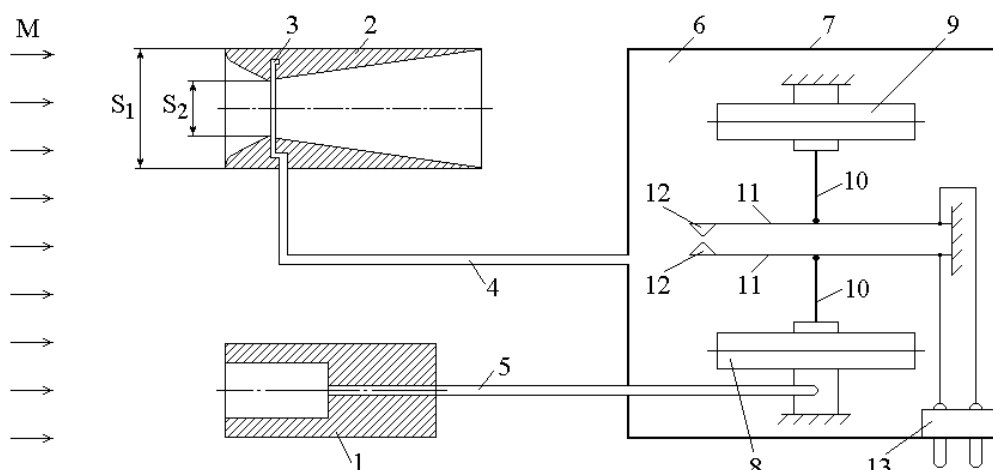


Рис. 1. Схема сигнализатора числа М

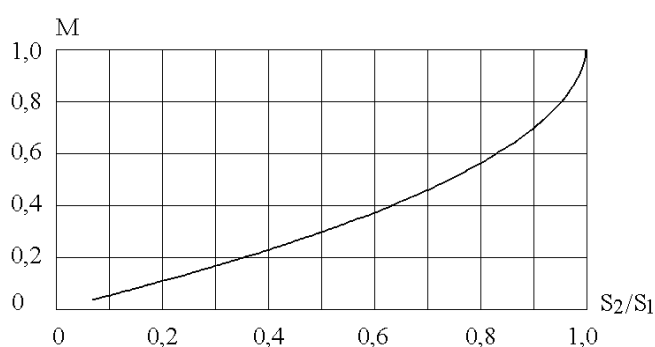


Рис. 2. Зависимость числа М, соответствующего точке срабатывания, от отношения площадей S_2/S_1 сечений проточного приёмника

На рис. 1 представлена схема предлагаемого сигнализатора числа М.

Сигнализатор числа М содержит приёмник давления 1 полного аэродинамического торможения, проточный приёмник 2 статического давления со щелью 3 отбора давления в узком сечении, соединительные трубопроводы 4, 5, мембранно-решающее контактное устройство 6, состоящее из корпуса 7, манометрической коробки 8, анероида 9, тяг 10, противодействующих пружин 11, контактов 12, разъёма 13.

При помещении приёмников 1, 2 в воздушный поток полное давление аэродинамического торможения, воспринимаемое приёмником 1, по соединительному трубопроводу 5 передаётся в полость манометрической коробки 8, а давление из щели 3 в узком сечении проточного приёмника 2 статического давления по соединительному трубопроводу 4 передаётся в корпус 7 мембранно-решающего контактного устройства 6. Перемещения жёстких центров манометрической коробки 8 и анероида 9 передаются с помощью тяг 10 противодействующим пружинам 11, связанным с контактами 12. В момент достижения скорости звука в узком сечении проточного приёмника 2 статического давления замыкаются контакты 12. Выходной сигнал, соответствующий заданной точке срабатывания сигнализатора числа М, передаётся потребителю через разъём 13.

Выбор отношения площадей узкого (S_2) и входного (S_1) сечений проточного приёмника статического давления, при котором скорость воздушного потока в узком сечении достигает скорости звука, соответствующего точке срабатывания сигнализатора числа М, производится по графику рис. 2.

При достижении в узком сечении проточного приёмника скорости звука устанавливается постоянное отношение давления полного аэродинамического торможения P_1 к давлению P_2 в узком сечении: $P_1/P_2 = [(k+1)/2]^{k/(k-1)}$, где k – показатель адиабаты, для воздуха $k = 1,41$, тогда $P_1/P_2 = 1,89$.

Если скорость полёта превышает значения числа М, соответствующего точке срабатывания сигнализатора, отношение давлений, измеренное мембранно-решающим контактным устройством, есть величина постоянная, а это позволяет устранить раздутие мембранных чувствительных

элементов, уменьшить деформацию противодействующих пружин, в результате увеличивается точность измерения числа M .

Экспериментальные исследования, проведённые в работе [3], показали, что наименьшие гидравлические потери в проточном канале обеспечивают наибольшую чувствительность к скорости, наименьшую чувствительность к скосу потока и приемлемую повторяемость характеристик.

Приёмник воздушного давления с наименьшими потерями в проточном канале представлен на рис. 3 [4]. В корпусе 1 имеется канал, образованный конфузуром 2 и диффузором 3. Узкие части конфузора и диффузора расположены с зазором, образующим щель 4 для отбора давления, соединённую пневмотрассой 5 с регистрирующим прибором 6.

Входная кромка конфузора выполнена с радиусом затупления $R = 0,2 D$, где D – диаметр его узкой части. Углы раствора конфузора α_1 и диффузора α_2 составляют соответственно $45 \div 50^\circ$ и $8 \div 10^\circ$. Отношение диаметров узких частей конфузора и диффузора D/D_1 может быть меньше единицы. Длина конфузора l равна диаметру D .

Для получения необходимой чувствительности к скорости и углу скоса потока, а также коррекции аэродинамических ошибок, возникает необходимость регулировки проточных приёмников воздушных давлений. Это может быть получено изменением диаметра D и длины l конфузороного канала.

Сопоставляя данные экспериментальных исследований, проведённых в работе [3], можно сделать вывод, что с целью уменьшения влияния углов скоса потока и увеличения чувствительности к скорости необходимо выполнить условие $l \approx D$.

Для обеспечения возможности компенсации аэродинамических и исходных ошибок в диффузорной части проточных приёмников перпендикулярно продольной оси симметрии канала устанавливаются обтекаемые тела в виде регулировочных винтов [5].

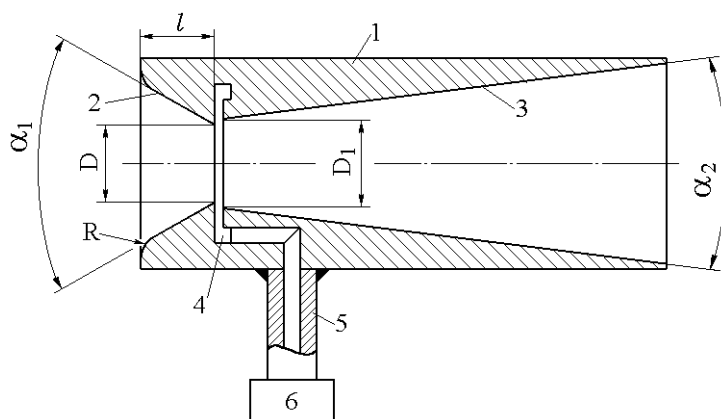


Рис. 3. Проточный приёмник воздушного давления

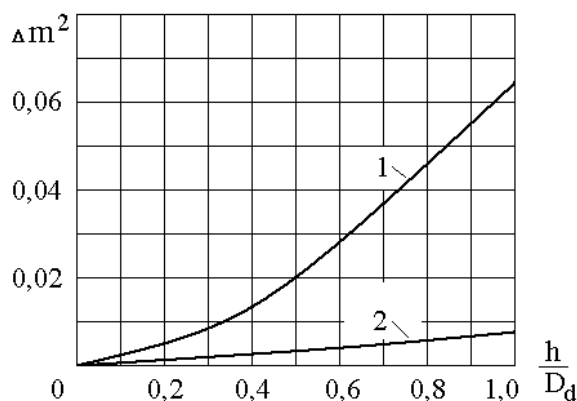


Рис. 4. Регулировочная характеристика проточного приёмника

Результаты экспериментального исследования опытного образца такого приёмника воздушных давлений приведены на рис. 4, где 1 – зависимость изменения коэффициента Δm^2 приёмника давления от отношения высоты h выступающей в диффузоре части регулировочного винта к диаметру D_d диффузора в месте установки винта при $l_1/D_1 = 3$ (здесь l_1 – расстояние от щели отбора давления до регулировочного винта); 2 – подобная зависимость при $l_1/D_1 = 5$.

Значения дополнительных гидравлических сопротивлений протекающему потоку зависят от размеров тел и их положения в диффузоре. Суммарный коэффициент сопротивления корректирующих элементов зависит также от относительного расстояния между телами и количества регулировочных винтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврова А. Т. Методические указания и задания по курсовому проекту «Элементы автоматических приборных устройств». – Москва : МАИ, 1964. – 16 с.
2. Патент 186916 Российской Федерации на полезную модель, МПК G01P 5/16 (2006.01). Сигнализатор числа M / В. Н. Шивринский ; патентообладатель Ульяновский государственный технический университет – №2018131345 ; заявлен 30.08.2018; опубликован 11.02.2019, Бюллетень №5. – 5 с.
3. Шивринский В. Н. Исследование проточных приёмников воздушных давлений. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 132 с.
4. Авторское свидетельство 672526 СССР, МКИ G01L 19/00. Приёмник статического давления / В. Н. Шивринский, Е. М. Нашатыркин. – №2363955/18–10; заявлено 24.05.1976; опубликовано 05.07.1979, Бюллетень №25. – 2 с.
5. Патент 137104 Российской Федерации на полезную модель, МПК G01L 19/00 (2006.01). Регулируемый приёмник воздушных давлений / В. Н. Шивринский ; заявитель и патентообладатель Ульяновский государственный технический университет – № 2013131852/28; заявлен 09.07.2013; опубликован 27.01.2014, Бюллетень №3. – 8 с.

REFERENCES

1. Lavrova A. T. *Metodicheskie ukazaniya i zadaniya po kursovomu projektu «Elementy avtomaticheskikh pribornyh ustrojstv»* [Methodical instructions and tasks on the course project «Elements of automatic instrumentation devices»]. Moscow : MAI, 1964. 16 p.
2. *Patent 186916 Rossijskoj Federacii na poleznuyu model'*, MPK G01P 5/16 (2006.01). *Signalizator chisla M* [Patent 186916 of the Russian Federation for utility model, IPC G01P 5/16 (2006.01). The alarm number M] / V. N. SHivrinskij ; *patentobladatel' Ul'yanovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet – №2018131345 ; zayavlen 30.08.2018 ; opublikovan 11.02.2019, Byulleten' №5, 5 p.*
3. SHivrinskij V. N. *Issledovanie protochnyh priyomnikov vozdushnyh davlenij* [The study of flowing receivers of air pressure]. Ul'yanovsk : UIGTU, 2013. 132 p.
4. *Avtorskoe svidetel'stvo 672526 SSSR, MKI G01L 19/00. Priyomnik staticheskogo davleniya* [672526 copyright certificate of the USSR, MKI G01L 19/00. Static pressure receiver] / V. N. SHivrinskij, E. M. Nashatyркин. – № 2363955/18–10 ; *zayavleno 24.05.1976; opublikovano 05.07.1979, Byulleten' №25. 2 p.*
5. *Patent 137104 Rossijskoj Federacii na poleznuyu model'*, MPK G01L 19/00 (2006.01). *Reguliruemyj priyomnik vozdushnyh davlenij* [Patent 137104 of the Russian Federation for utility model, IPC G01L 19/00 (2006.01). Adjustable air pressure receiver] / V. N. SHivrinskij ; *zayavitel' i patentobladatel' Ul'yanovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet – №2013131852/28; zayavlen 09.07.2013; opublikovan 27.01.2014, Byulleten' №3. 8 p.*

•••••

Шивринский Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Имеет научные работы в области авиационного приборостроения.

Поступила 10.04.2019 г.

РОЛЬ КАЛИБРОВКИ ЛОРЕНЦА В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Разработан метод преобразования волновых уравнений электромагнитного поля (ЭМП), приводящий к выводу преобразований Лоренца, в котором непосредственно используется калибровка Лоренца. Установлено, что калибровка Лоренца определяет преобразования Лоренца волновых уравнений.

Ключевые слова: преобразования Лоренца, калибровка Лоренца, уравнение непрерывности тока, плотность тока переноса, волновое уравнение, оператор Даламбера, оператор набла

Введение

Теория относительности (СТО) требует, чтобы уравнения, выражающие законы природы, были инвариантными относительно преобразования Лоренца [1]. Преобразования Лоренца определяются многими путями. Если в СТО преобразования Лоренца вводятся на основе двух постулатов (постоянства скорости света и принципа относительности), то впервые Лоренц получил свои преобразования непосредственно из решений уравнений Максвелла и сделал важное математическое открытие, что волновое уравнение Даламбера инвариантно относительно преобразований Лоренца.

Калибровка Лоренца в современной теории ЭМП предназначена для удобства представления волновых уравнений электродинамических потенциалов в одинаковой форме [2]. При этом в качестве критериев инвариантности в СТО используется математический аппарат четырёхмерного мира, в котором калибровка Лоренца констатируется в форме релятивистки инвариантном четырёхмерном уравнении дивергенции, а переход от одной координаты к другой в четырёхмерном мире производится при помощи преобразований Лоренца.

В предлагаемой работе выводится из тени важное свойство лоренцевой калибровки, которое может иметь эвристическое значение для развития теории ЭМП. Для этого разработан ещё один способ вывода преобразований Лоренца из уравнений ЭМП на основе подхода, предложенного в [3].

Основная часть

Для определения решения системы уравнений Максвелла её приводят к волновым уравнениям. Например, относительно характеристик ЭМП в вакууме – для напряжённости электрического поля \mathbf{E} и индукции магнитного поля \mathbf{B} соответственно:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \left(\frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t} \right) + \frac{\nabla \rho}{\varepsilon_0}; \quad (1)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = -\mu_0 \operatorname{rot} \mathbf{J}, \quad (2)$$

где ρ – объёмная плотность заряда; ∇ – оператор набла; \mathbf{J} – плотность тока. Причём \mathbf{J} и ρ связаны уравнением непрерывности тока (законом сохранения заряда)

$$\operatorname{div} \mathbf{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (3)$$

Пусть источником ЭМП будет движущийся со скоростью \mathbf{v} точечный заряд q , положение которого в пространстве задаётся радиус-вектором $\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0(t)$, где \mathbf{r} – радиус-вектор неподвижной точки; $\mathbf{r}_0(t)$ – радиус-вектор заряда, объёмная плотность которого $\rho = q\delta(\mathbf{R})$; $\delta(\mathbf{R})$ – функция Дирака. Плотность тока переноса выражается через плотность заряда следующим образом:

$$\mathbf{J} = \rho \mathbf{v}. \quad (4)$$

Волновые уравнения для электродинамических потенциалов при калибровке *Лоренца*

$$\operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

принимают подобный вид:

$$\nabla^2 \mathbf{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = - \left(\frac{\mathbf{v}}{c^2} \right) \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (6)$$

$$\nabla^2 \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = - \frac{\rho}{\varepsilon_0}. \quad (7)$$

Если $\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 = \text{const}$, то непосредственно из подобности уравнений (6) и (7) электродинамические потенциалы связаны формулой

$$\mathbf{A} = \left(\frac{v_0}{c^2} \right) \varphi. \quad (8)$$

Подставив (8) в формулу калибровки *Лоренца* (5), получим важное строгое преобразование производной по времени скалярного потенциала для равномерно движущегося заряда:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -(\mathbf{v}_0 \nabla \varphi) = -(\mathbf{v}_0 \nabla) \varphi. \quad (9)$$

Выражение (9) означает, что потенциал φ является функцией от аргумента $\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{v}_0 t$, и взятие производной по времени от φ проводится как от сложной функции $\varphi(\mathbf{R}(\mathbf{r}, t)) = \varphi(X(x, t), Y(y, t), Z(z, t))$, где $(X = x - v_{0x}t, Y = y - v_{0y}t, Z = z - v_{0z}t)$ координаты радиус-вектора $\mathbf{R}(\mathbf{r}, t)$, соединяющего заряд с точкой, в которой определяется ЭМП. Поэтому в соответствии с (9) оператор дифференцирования по времени в координатной форме примет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} = -(\mathbf{v}_0 \nabla) = \frac{dX}{dt} \frac{\partial}{\partial X} + \frac{dY}{dt} \frac{\partial}{\partial Y} + \frac{dZ}{dt} \frac{\partial}{\partial Z}, \quad (10)$$

и соответственно оператор *Даламбера* $\square = \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ принимает вид $\nabla^2 - \frac{(v_0 \nabla)^2}{c^2}$. При этом волновое уравнение (7) преобразуется к следующему виду:

$$\left(\nabla^2 - \frac{(v_0 \nabla)^2}{c^2} \right) \varphi(\mathbf{R}) = - \frac{\rho(\mathbf{R})}{\varepsilon_0}. \quad (11)$$

Пусть теперь вектор скорости заряда ориентирован в направлении координатной оси OX неподвижной системы отсчёта, то $\mathbf{v}_0 = v_0 \mathbf{i}$, а левый оператор уравнения (11) в координатной форме приводится к виду

$$\nabla^2 - \frac{(v_0 \nabla)^2}{c^2} \equiv \frac{\partial^2}{\partial X^2} \left(1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2 \right) + \frac{\partial^2}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2}{\partial Z^2} = \frac{\partial^2}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \equiv \Delta', \quad (12)$$

где Δ' – эквивалентный оператор *Лапласа* в новой инерциальной системе отсчёта (ИСО) координат.

Операторное уравнение (12) характеризует путь преобразования оператора *Даламбера* \square к эквивалентному оператору *Лапласа* Δ' и приводит к следующим преобразованиям координат:

$$x' = \frac{X}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}} = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}}; \quad y' = Y = y; \quad z' = Z = z, \quad (13)$$

которые совпадают с преобразованиями *Лоренца* [1, 2].

Представив объёмную плотность $\rho(\mathbf{R})$ точечного заряда через функцию *Дирака* $q\delta(\mathbf{R}) = q\delta(X)\delta(Y)\delta(Z)$, в которую подставлены новые координаты из (13) и применив процедуру преобразования аргумента обобщённой функции, в результате получим формулу преобразования для плотности заряда

$$\rho(\mathbf{R}) = q\delta \left(x' \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \right) \delta(y') \delta(z') = \frac{q\delta(x')\delta(y')\delta(z')}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}} = \frac{\rho'(\mathbf{R}')}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}}, \quad (14)$$

которая совпадает с известной формулой, соответствующей преобразованиям *Лоренца* [2]. Здесь $\rho'(\mathbf{R}')$ – объёмная плотность точечного заряда в собственной системе координат (в подвижной ИСО, которая перемещается со скоростью v_0).

Уравнение (11) с учётом (12) и (14) примет вид

$$\Delta' \varphi(\mathbf{R}') = - \frac{\rho'(\mathbf{R}')}{\varepsilon_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}}. \quad (15)$$

Из (15) следует, что скалярный потенциал преобразуется по закону

$$\varphi(\mathbf{R}') = \frac{\varphi'(\mathbf{R}')}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}}$$

который совпадает с законом преобразования *Лоренца* [2]. При этом уравнение (15) приобретает вид, аналогичный уравнению *Пуассона* для электростатического поля

$$\Delta' \varphi'(\mathbf{R}') = -\frac{\rho'(\mathbf{R}')}{\varepsilon_0}. \quad (16)$$

В собственной системе отсчёта $\mathbf{J}' = 0$, поэтому векторный потенциал $\mathbf{A}' = 0$.

Подставляя (13) в инвариант преобразования Лоренца [1]

$$t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2,$$

получим формулу преобразования времени

$$t' = \frac{t - v_0 x/c^2}{\sqrt{1 - (v_0/c)^2}}$$

Таким образом, изложенный метод преобразования волновых уравнений электродинамических потенциалов переводит уравнения (6)–(7), записанные относительно неподвижной ИСО, в уравнение Пуассона (16), записанное в собственной системе отсчёта. Этот метод работает верно, так как приводит к преобразованиям Лоренца (13).

Соотношение (8) между векторным \mathbf{A} и скалярным φ потенциалами в случае произвольной скорости движения заряда получают, например, четырёхмерным преобразованием или путём непосредственного решения уравнений (6)–(7).

Для общего случая установим дополнительные требования, подставив (8) в (6), то получим

$$\varphi \square \mathbf{v} + 2 \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) = -\mathbf{v} \left(\square \varphi + \frac{\rho}{\varepsilon_0} \right) \equiv 0, \quad (17)$$

которое имеет решение при условии $\square \mathbf{v} = 0$, при этом второе слагаемое становится тождеством.

Согласно принципу Даламбера физически реализуемым решением однородного волнового уравнения является функция от «запаздывающего» момента времени $\mathbf{v} = \mathbf{v} \left(t - \frac{R(\tau)}{c} \right) = \mathbf{v}(\tau)$; решением неоднородного волнового уравнения, находящегося в правой части (16), является функция $\varphi(\tau)$. Таким образом, «запаздывающий» момент времени τ характерен только при ускоренном движении заряда.

В случае кулоновской калибровки $\text{div} \mathbf{A} = 0$ проведём преобразования волновых уравнений (1) – (2). Подставив (4) в (3), получим выражение, аналогичное (9)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\mathbf{v}_0 \nabla \rho), \quad (18)$$

которое будет характеризовать аргумент зависимости $\rho(\mathbf{R})$, структуру оператора $(\mathbf{v}_0 \nabla)$ в координатной форме (10) и уравнение (1) в следующем виде:

$$\left(\nabla^2 - \frac{(\mathbf{v}_0 \nabla)^2}{c^2} \right) \mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \left(\nabla \rho - \frac{\mathbf{v}_0 (\mathbf{v}_0 \nabla \rho)}{c^2} \right), \quad (19)$$

левый оператор которого преобразуется так же, как (9), а правый преобразуется следующим образом:

$$\left(\left(\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \frac{\partial}{\partial X} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial Y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial Z} \mathbf{k} \right) = \left(\frac{\partial}{\partial x'} \mathbf{i}' + \frac{\partial}{\partial y'} \mathbf{j}' + \frac{\partial}{\partial z'} \mathbf{k}' \right) = \nabla'. \quad (20)$$

В формуле (20): $\mathbf{j}' = \mathbf{j}$; $\mathbf{k}' = \mathbf{k}$; $\mathbf{i}' = \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \mathbf{i}$. Последняя формула выражает условие, что для вектора \mathbf{i} собственной системой отсчёта является неподвижная ИСО (без штрихов).

Подставив (14) и (20) в (19) и учтя (12), получим:

$$\Delta' \left(E_x \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \mathbf{i} + E_y \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \mathbf{j} + E_z \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2} \mathbf{k} \right) = \frac{\rho'(\mathbf{R}')}{\varepsilon_0};$$

$$\Delta' (E'_x \mathbf{i}' + E'_y \mathbf{j}' + E'_z \mathbf{k}') \equiv \Delta' \mathbf{E} = \frac{\rho'(\mathbf{R}')}{\varepsilon_0}. \quad (21)$$

В формуле (21) $E'_x = E_x$; $E'_y = E_y \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}$; $E'_z = E_z \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2}$, так как магнитное поле заряда равно нулю в подвижной ИСО. Поэтому уравнение (2) преобразуется к виду $\Delta' \mathbf{B}' = 0$.

Таким образом, на основе уравнения непрерывности тока (3) и уравнения переноса тока (4) проведено преобразование волновых уравнений для силовых характеристик ЭМП \mathbf{E} и \mathbf{B} из неподвижной ИСО в подвижную ИСО. Преобразованиями Лоренца (13) выводятся из процедур разработанного метода преобразования.

Заклучение

1. Установлено, что преобразования *Лоренца* волновых уравнений ЭМП выводятся при наличии пары связей между векторно-скалярными характеристиками источников поля и электродинамических потенциалов поля:

$$\mathbf{J} = \rho \mathbf{v}, \quad \operatorname{div} \mathbf{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \text{и} \quad \mathbf{A} = \left(\frac{v_0}{c^2} \right) \phi, \quad \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0,$$

и каждая пара может выступать критерием инвариантности волновых уравнений ЭМП относительно преобразования Лоренца.

2. Калибровка *Лоренца* определяет преобразования *Лоренца* волновых уравнений ЭМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угаров В. А. Специальная теория относительности. – Москва: Наука, 1977. – 383 с.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Электродинамика, вып. 6 / Пер. с англ. под ред. Я. А. Смородинского. – Москва: Мир, 1966. – 343 с.
3. Меньшов Е. Н. Метод анализа ЭМП равномерно движущегося заряда на основе модели Максвелла: Схемно-топологические модели активных электрических цепей: синтез, анализ, диагностика: Тр. межд. конф. «КЛИН-2004» (г. Ульяновск, 18–20 мая 2004 г.) / Под общей ред. Л. И. Волгина. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – Т. 4. – С. 97–102.

REFERENCES

1. Ugarov V. A. *Special'naya teoriya otноситel'nosti* [Special theory of relativity]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 383 p.
2. Feynman R., Leighton R., Sands M. *Fejnmanovskie lekicii po fizike. EHlektrodinamika vol. 6* [The Feynman Lectures on Physics. Electrodynamics, vol. 6]. *Per. from ang. by ed. Ya. A. Smorodinsky*/ Moscow, Mir Publ., 1966. 343 p.
3. Menshov E. N. *Metod analiza EHMP ravnomerno dvizhushchegosya zaryada na osnove modeli Maksvellla* [Method for analyzing an electromagnetic field of a uniformly moving charge based on the Maxwell model]: *Skhemno-topologicheskie modeli aktivnyh ehlektricheskikh cepej: sintez, analiz, diagnostika* [Circuit-topological models of active electrical circuits: synthesis, analysis, diagnostics]: *Tr. mezhd. konf. «KLIN-2004» (g. Ul'yanovsk, 18–20 maya 2004 g.) / Pod obshchej red L. I. Volgina*. Ul'yanovsk: UIGTU, 2004, T. 4, pp. 97–102.

•••••

Меньшов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение» УлГТУ. Имеет публикации в области математического моделирования электромагнитных элементов и систем.

Поступила 27.02.2019 г.

Д. С. АЛЕКСАНДРОВ, А. С. КАЛАШНИКОВ

СТРУКТУРНЫЙ МЕТОД РАСЧЁТА ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ В ЦЕПЯХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Предлагается простая методика получения аналитических зависимостей тока замыкания от времени в электрической цепи выпрямительной установки стороны постоянного тока с учётом сопротивлений стороны переменного тока, произвольным числом фаз на стороне переменного тока и любых схем выпрямления. Отправной точкой исследования служит анализ переходных процессов на стороне переменного тока. В качестве основной идеи решения поставленной задачи предлагается использование понятия обобщённого вектора многофазной сети. Эквивалентная схема замещения стороны переменного тока, приведённая к стороне постоянного тока выпрямительной установки, формируется на основании свойства одновременно работающих вентилей катодной группы и вентилей анодной группы. Иначе говоря, эквивалентная схема замещения стороны постоянного тока формируется на основании структурного, а не временного подхода к анализу переходных процессов. Технология применения метода продемонстрирована на примере замыкания выводов постоянного тока трёхфазной мостовой схемы выпрямления.

Ключевые слова: выпрямительная установка, сторона выпрямительной установки, выпрямительное устройство, схема выпрямительной установки, вентильное устройство, ток замыкания, переходный процесс, обобщённый вектор, система координат.

Контроль соответствия коммутационных электрических аппаратов постоянного тока на номинальное напряжение до 1000 В техническим требованиям в части коммутационной способности как в процессе разработки, так и в процессе производства осуществляется путём испытания аппаратов на специальных испытательных стендах или установках. Испытательная установка в самом общем случае представляет собой совокупность следующего основного силового электрооборудования: источника электрической энергии; выпрямителя; активных сопротивлений и реакторов, регулирующих параметры испытательной цепи; соединительных линий.

Для каждого конкретного типоразмера коммутационного аппарата нормативными документами устанавливается перечень типов испытаний. Наиболее весомыми из них являются коммутационная способность и, прежде всего, предельная коммутационная способность, которая определяется значением тока замыкания I_d на момент размыкания контактов. Требуемые от испытательной установки токи замыкания в настоящее время и на перспективу могут достигать $I_d = 200\text{--}300$ кА и более.

Получение такого значения тока замыкания от испытательной установки представляет собой очень сложную техническую задачу в плане реализации основных элементов испытательного стенда. Помимо этого возникает проблема учёта переходных процессов в источнике питания из-за необходимости:

- получения эквивалентных параметров испытательной цепи при её настройке;
- толкования результатов испытания;
- возможности сравнения результатов испытания, полученных в разных испытательных лабораториях, одних и тех же аппаратов формально в одних и тех же условиях.

Источниками электрической энергии испытательных установок могут служить:

- ударные генераторы постоянного тока [3];
- ударные генераторы переменного тока в совокупности с преобразовательной установкой;
- распределительная сеть лаборатории, получающая энергию от подстанции, в совокупности с преобразовательной установкой (сетевой стенд).

В дальнейшем рассматривается сетевая схема испытательного стенда, в котором источник питания можно считать источником бесконечной мощности с неизменным напряжением на его выводах даже при испытании на самое предельное значение ожидаемого испытательного тока.

Решение вышеперечисленных задач требует аналитического описания зависимости тока замыкания от времени. Проблема заключается в отсутствии аналитического описания тока замыкания от времени $I_d = f(t)$, которое необходимо в связи с влиянием формы зависимости $I_d = f(t)$ на результаты испытания аппаратов. Это не позволяет выполнить всеобъемлющее объективное сравнение возможностей источников питания стендов, реализованных в различных организациях. Другими словами, речь идёт об отсутствии важнейшей характеристики испытательных установок, именуемой *воспроизводимостью* условий испытания стендом.

Следует отметить, анализ переходных процессов численными методами [2] не только трудоёмок, но и в основном применим к конкретным типам электрооборудования и условиям испытаний, не давая общей картины переходного процесса. Погрешность результата расчёта переходного процесса в большинстве случаев не позволит оценить достоверность эквивалентных параметров испытательной цепи при её настройке, а также оценить степень воспроизводимости результатов испытания, полученных в разных испытательных лабораториях, одних и тех же аппаратов формально в одних и тех же условиях.

Форма зависимости тока замыкания испытательной сетевой установки $I_d = f(t)$, использующей выпрямление переменного тока в постоянный ток, определяется следующими основными факторами:

- схемой выпрямительной установки (далее «выпрямителя»);
- особенностями работы вентиля в возможном токовом диапазоне работы выпрямителя;
- влиянием параметров стороны переменного тока выпрямителя (активного R_a и индуктивного сопротивлений X_a) на сторону постоянного тока выпрямителя;
- количеством фаз выпрямителя.

Аналитическое выражение тока замыкания $I_d = f(t)$ в доступных источниках информации отсутствует. Имеются в [4] выражения параметров тока замыкания, позволяющие определить установившееся значение тока I_{d0} и ударное значение тока i_y для трёхфазной мостовой схемы и шестифазной схемы – две обратные звезды с уравнивающим реактором. Схемы выпрямления с таким количеством фаз в испытательных установках неприменимы, так как количество фаз, как минимум, должно быть увеличено вдвое.

В силу сложности электрической цепи выпрямительной установки (рис. 1, а), состоящей из:

- трёхфазного источника питания переменного тока;
- преобразовательного трансформатора, преобразующего трёхфазную систему переменного тока со стороны сетевой обмотки в многофазную систему переменного тока со стороны вентильной обмотки;
- вентильного устройства;
- цепи постоянного тока,

анализ переходных процессов осуществляют [1, 2, 5–7] с помощью системы дифференциальных уравнений, составленных для определённых интервалов времени, когда открыты соответствующие группы вентиля.

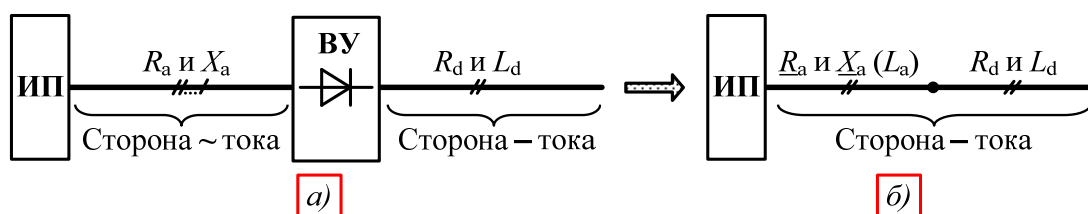


Рис. 1. Структурное преобразование исходной электрической цепи выпрямителя (а), состоящей из цепи многофазной стороны переменного тока $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, \dots, a_n, b_n, c_n$ и цепи стороны постоянного тока d , в эквивалентную цепь (б), состоящую исключительно из цепи стороны постоянного тока d : ИП – источник питания; ВУ – вентильное устройство; R_a и $X_a = \omega L_a$ – активное и индуктивное сопротивление одной фазы стороны переменного тока выпрямителя; R_d и L_d – активное сопротивление и индуктивность стороны постоянного тока; \underline{R}_a и \underline{X}_a – активное и индуктивное сопротивление стороны переменного тока, приведённые к стороне постоянного тока; //.../ – обозначение m фаз стороны переменного тока; // – обозначение двухпроводной цепи стороны постоянного тока

Ток замыкания выпрямителя $I_d = f(t)$ получают, решая дифференциальные уравнения численными методами с последующим последовательным суммированием полученных токов на интервалах работы (открытого состояния) отдельных групп вентиляей

$$I_d = \sum i(t_i),$$

где $i(t_i)$ – значение переменного тока всей цепи выпрямителя на i -м интервале времени t_i , когда открыта i -я группа вентиляей;

$i = 1, 2, \dots, i, \dots, n$ – количество интервалов времени.

Значения токов получают на основании решения системы дифференциальных уравнений n -го порядка.

Идея получения *аналитического выражения* тока замыкания выпрямителя $I_d = f(t)$ заключается в приведении стороны переменного тока к стороне постоянного тока выпрямителя (см. рис. 1) посредством получения *эквивалентной схемы замещения* стороны переменного тока, не зависящей от работы открытой группы вентиляей в конкретном интервале времени t_i . Эквивалентная схема замещения стороны переменного тока, приведённая к стороне постоянного тока выпрямителя, формируется на основании свойства одновременно работающих вентиляей катодной группы и вентиляей анодной группы во внекоммутационный и коммутационный периоды. Следующий этап в части получения зависимости $I_d = f(t)$ связан с формированием общей схемы замещения выпрямителя, приведённой к стороне постоянного тока. Путём свёртывания получается эквивалентная схема замещения выпрямителя, на основании которой и выводится искомое аналитическое выражение тока замыкания от времени $I_d = f(t)$.

Преимущество предлагаемого подхода структурного характера к решению поставленной задачи заключается в возможности получения аналитического выражения зависимости $I_d = f(t)$ в наиболее простой форме без учёта второстепенных факторов, например, без учёта высших гармонических составляющих. Прямое применение метода дифференциальных уравнений не позволяет решить задачу в таком виде.

Чтобы детально представить идею применения предлагаемого структурного метода получения зависимости $I_d = f(t)$, следует рассмотреть важный с практической точки зрения случай замыкания на выводах постоянного тока вентильного устройства, когда $R_d = 0$ и $L_d = 0$.

Замыкание на выводах постоянного тока вентильного устройства испытательной установки относится к предельному режиму работы и является характерным рабочим режимом испытательного стенда, определяющим важнейший его параметр – предельное значение испытательного тока $I_{дп}$ стенда.

В качестве демонстрационного примера рассматривается трёхфазная мостовая схема выпрямления, представленная на рис. 2, б. Однолинейная схема выпрямителя, позволяющая получать значительные токи замыкания и питаемая от высоковольтной системы электроснабжения, представлена на рис. 2, а.

Важная особенность процесса коммутации тока в вентилях заключается в количестве одновременно коммутирующих вентиляей катодной и анодной групп, в зависимости от значения коммутируемого тока I_d и при наличии индуктивности стороны переменного тока $L_a \neq 0$. Такое положение объясняется ростом запасаемой энергии в индуктивности стороны переменного тока L_a с ростом значения коммутируемого тока I_d , так как приведённое к стороне постоянного тока значение энергии определяется выражением $W_{L_a} = L_a \cdot I_d^2 / 2$. Чем больше значение энергии W_{L_a} , тем более длительный процесс её рассеивания в активном сопротивлении стороны переменного тока R_a . Общее количество коммутирующих вентиляей катодной и анодной групп может лежать в пределах трёх–четырёх штук [7]. Чаще всего коммутируют три вентиля в интересующем диапазоне токов замыкания I_d , прилегающему к предельно возможному току замыкания $I_{дп}$ испытательной установки. Такой режим работы общепринято именовать режим «три» [5–7].

На рис. 2, б представлен процесс одновременной коммутации тока вентилями 3, 4, 5 в какой-то промежуток времени на i -м интервале времени t_i .

На рис. 2, в представлена исходная схема замещения. Ввиду выпрямления приведённые ветви двух фаз с одновременной работой включаются в параллель. То есть выпрямление ликвидирует сдвиг фаз, делая его нулевым, и, соответственно, начальная фаза напряжения становится равной нулю. Особенностью приведённых параметров стороны переменного тока к стороне постоянного тока заключается в необходимости учёта индуктивного сопротивления стороны переменного тока X_a , так как в действительности он переменный по отношению к стороне переменного тока. Преобразование переменного тока на сторону постоянного тока выпрямителя должно учитывать это обстоятельство.

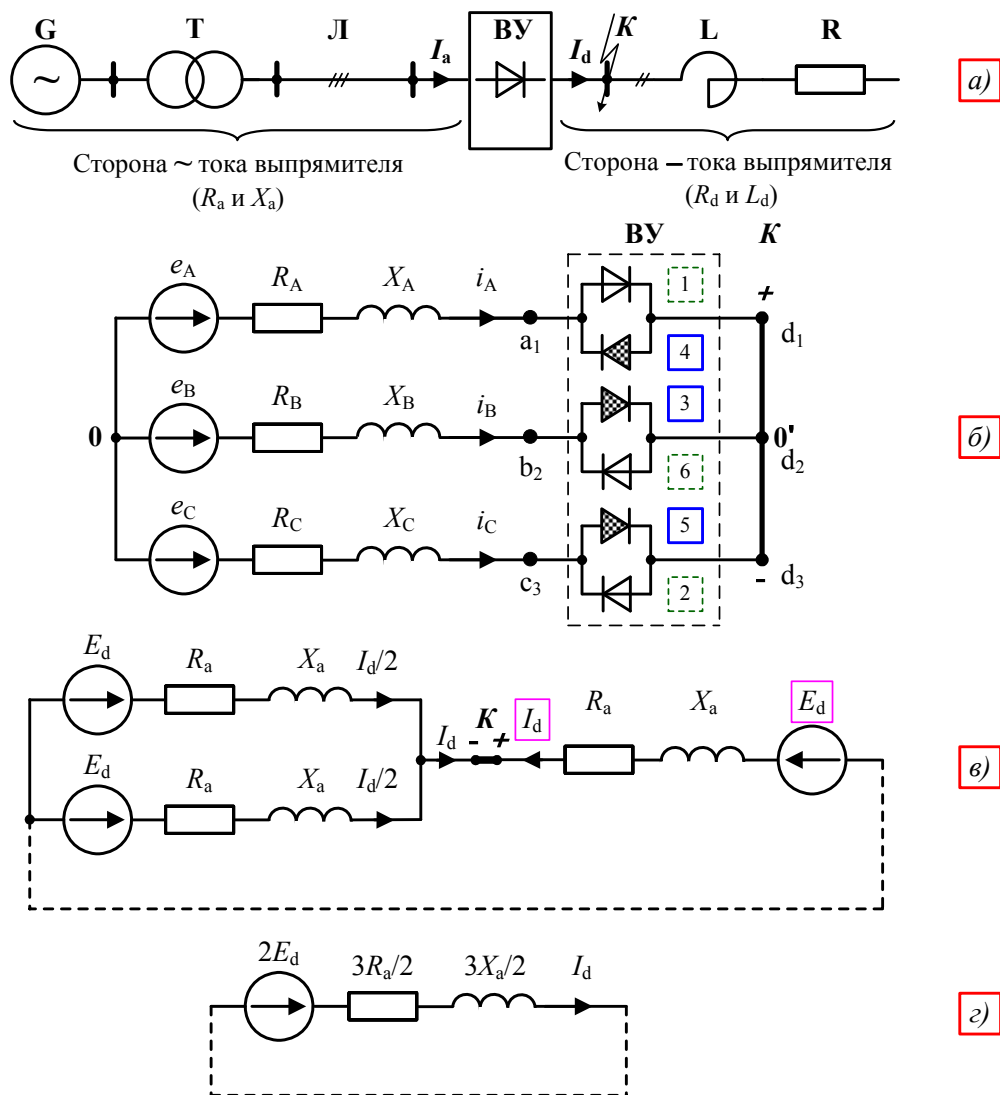


Рис. 2. а) Расчётная схема мостовой схемы выпрямления М6 при замыкании на выводах d1, d2, d3 постоянного тока вентильного устройства ВУ:

Г – трёхфазный источник питания переменного тока бесконечной мощности; **Т** – преобразовательный трансформатор; **Л** – низковольтная трёхфазная линия; I_a – ток стороны переменного тока, соответствующий значению обобщённого вектора; I_d – ток замыкания стороны постоянного тока; **К** – место замыкания; **Л** и **Р** – реактор и активное сопротивление стороны постоянного тока; $///$ – обозначение трёх фаз стороны переменного тока; $//$ – обозначение двухпроводной цепи стороны постоянного тока; параметры цепи стороны переменного тока R_a и X_a имеют индекс **a**, параметры цепи стороны постоянного тока R_d и L_d имеют индекс **d**; R_a и $X_a = \omega L_a$ – результирующие активные и индуктивные сопротивления каждой из фаз **A**, **B**, **C** стороны переменного тока; L_a – результирующая индуктивность каждой из фаз **A**, **B**, **C** стороны переменного тока.

б) Исходная схема замещения стороны переменного тока выпрямителя:

e_A, e_B, e_C – мгновенные значения ЭДС источника напряжения каждой из фаз **A**, **B**, **C**, приведённые к стороне вентильной обмотки трансформатора **Т**; a_1, b_2, c_3 – вывода вентилях со стороны переменного тока каждой из фаз **A**, **B**, **C** стороны переменного тока выпрямителя; 1, 3, 5 – номера вентилях катодной группы; 2, 4, 6 – номера вентилях анодной группы; заштрихованные вентиля 3, 5, 4 – одновременно коммутирующие вентиля катодной и анодной групп; (+ –) – полярность выводов постоянного тока выпрямителя; d1, d2, d3 – вывода постоянного тока выпрямителя; 0 – нейтраль источника питания; 0' – нейтраль места замыкания.

в) Исходная схема замещения стороны постоянного тока выпрямителя:

E_d – преобразованная на сторону постоянного тока выпрямителя ЭДС источника питания **Г**; I_d – ток замыкания; выделение квадратом величин I_d и E_d в правой ветви рис. 2, в обозначает несоответствие их условных положительных направлений условным положительным направлениям I_d и E_d левой ветви рис. 2, в.

г) Эквивалентная схема замещения стороны постоянного тока выпрямителя

В любой момент времени при замыкании на выводах постоянного тока выпрямителя проводят ток три вентиля: два в катодной группе и один в анодной группе или наоборот, то есть имеет место режим коммутации вентилях «три» (порядок работы вентилях в режиме «три» смотри на рис. 2, б). В любой момент времени вентили катодной и анодной групп или анодной и катодной групп всегда включены *последовательно*. Поэтому схема замещения мостовой схемы выпрямления должна содержать две последовательные ветви, независимо от интервала времени. То есть структура схемы замещения не привязана ко времени, а зависит от режима работы вентилях. Одна ветвь принадлежит катодной группе вентилях, а другая ветвь принадлежит анодной группе вентилях. Причём одна из ветвей в свою очередь должна содержать две параллельные ветви, состоящие из ЭДС E_d , активного сопротивления R_a и реактивного сопротивления X_a .

Прежде всего, следует рассмотреть схему замещения рис. 2, в в части условных положительных направлений (УПН) тока замыкания I_d и ЭДС E_d ветви электрической цепи справа от минусового вывода выпрямителя «-», которые имеют условные положительные направления противоположные условным положительным направлениям аналогичных величин двух левых параллельно включённых ветвей, присоединённых к плюсовому выводу выпрямителя «+». УПН левой и правых ветвей противоположны, чего не должно быть, так как в одной и той же последовательной цепи ток и ЭДС не могут одновременно принимать положительное и отрицательное значения. Кроме того, на рис. 2, б УПН указанных величин правой ветви направлены встречно открытому состоянию вентиля, чего так же не должно быть. Поэтому при составлении уравнения по второму закону Кирхгофа следует ЭДС E_d правой ветви брать со знаком минус «-», а УПН тока замыкания направить в схеме слева направо.

Выполняя элементарные преобразования схемы замещения (см. рис. 2, в), получаем эквивалентную схему замещения (рис. 2, г) с конкретными параметрами. Несоответствие их условных положительных направлений условным положительным направлениям I_d и E_d левой ветви устраняется путём принятия одних УПН со сменой знака УПН величин правой ветви.

Эквивалентная схема замещения рис. 2, г формально позволяет получить аналитическую зависимость $I_d = f(t)$, поскольку определены параметры схемы замещения и её структура, описываемая одним дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами, имеющим известное общее решение [7]

$$I_d = I_{d0} [1 - e^{(-\omega t / T_a)}], \quad (1)$$

где I_{d0} – установившееся значение тока замыкания стороны постоянного тока выпрямителя, определяемое по выражению

$$I_{d0} = 2E_d / \sqrt{\{(3/2) \cdot R_a\}^2 + \{(3/2) \cdot X_a\}^2} = (4/3)E_d / \sqrt{R_a^2 + X_a^2},$$

E_d – ЭДС источника питания стороны переменного тока, приведённая к стороне постоянного тока выпрямителя;

R_a – суммарное активное сопротивление одной фазы стороны переменного тока выпрямителя;

$X_a = \omega L_a$ – суммарное индуктивное сопротивление одной фазы стороны переменного тока выпрямителя;

$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1} = \text{const}$ – угловая частота;

$T_a = (X_a / R_a)$ – безразмерная постоянная времени апериодической составляющей тока замыкания.

Из выражения (1) следуют особенности вентильного устройства – не только преобразование переменного тока в постоянный ток, но и изменение его значения ($I_d \neq I_a$).

Несмотря на формальную очевидность формы переходного процесса тока замыкания (1), имеет место ряд проблем. Сложность заключается в наличии вентильного устройства ВУ, которое преобразует переменный ток замыкания стороны переменного тока в постоянный ток стороны постоянного тока выпрямителя. При этом, как показывает эксперимент [5–7], изменяется форма тока замыкания $I_d = f(t)$, совершенно не соответствуя форме тока, определяемого по выражению (1). Другая сложность вызвана отсутствием соотношения по значению между ЭДС E_a обобщённого источника питания стороны переменного тока и ЭДС E_d стороны постоянного тока выпрямителя и, следовательно, неизвестно её значение. Рассмотрим решение данных вопросов.

Если замыкание имеет место на выводах d_1, d_2, d_3 со стороны постоянного тока, то в соответствии с [8] значение тока замыкания на стороне переменного тока определяется выражениями:

$$i_A = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi) - I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\omega t / T_a} = I_m \cdot \sin(\omega t + \beta) - I_m \cdot \sin(\beta) \cdot e^{-\omega t / T_a},$$

$$i_B = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi - 2 \cdot \pi / 3) - I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi - 2 \cdot \pi / 3) \cdot e^{-\omega t / T_a} = I_m \cdot \sin(\omega t + \beta - 2 \cdot \pi / 3) - I_m \cdot \sin(\beta - 2 \cdot \pi / 3) \cdot e^{-\omega t / T_a},$$

$$i_C = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi + 2 \cdot \pi / 3) - I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi + 2 \cdot \pi / 3) \cdot e^{-\omega t / T_a} = I_m \cdot \sin(\omega t + \beta + 2 \cdot \pi / 3) - I_m \cdot \sin(\beta + 2 \cdot \pi / 3) \cdot e^{-\omega t / T_a},$$

где $\beta = \alpha - \varphi$ – угловая характеристика;

α – начальная фаза ЭДС источника питания;

φ – угол сдвига фаз между ЭДС источника питания и периодической составляющей тока замыкания.

Исследование переходных процессов в электромеханических преобразователях, таких как синхронные и асинхронные электрические машины, выполняются с использованием понятия, именуемого обобщённым вектором f , где под f понимается обобщённый вектор любых физических величин по отношению к системе фазных векторных величин. Например, обобщённый вектор тока I эквивалентен по отношению к системе фазных токов i_A, i_B, i_C выпрямителя на стороне переменного тока. Это позволяет преобразовывать электрические машины сложной конструкции в эквивалентную двухфазную электрическую машину [8, 9]. В качестве подтверждения сказанного можно рассмотреть синхронный генератор переменного тока. Он состоит из статора, содержащего три обмотки переменного тока, и ротора, содержащего обмотку возбуждения постоянного тока.

Электростатический преобразователь, каковым является выпрямитель, так же имеет сложную структуру. Он состоит из многофазной стороны переменного тока и двухпроводной стороны постоянного тока. Поэтому внешняя структурная аналогия электромеханических и электростатических преобразователей позволяет сделать предположение о возможности распространения понятия обобщённого вектора на электростатические преобразователи. Условие применимости понятия обобщённого вектора для величин, изменяющихся по произвольному закону к исследованию процессов, изложено в [8]. Оно заключается, в случае трёхфазной системы, в соблюдении равенства

$$f_A + f_B + f_C = 0,$$

где f_A, f_B, f_C – фазные векторные физические величины.

Модуль обобщённого вектора $|f|$ в соответствии с [8] имеет вид

$$|f| = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)(f_A^2 + f_B^2 + f_C^2)}.$$

Обобщённый вектор периодической составляющей тока трёхфазной системы $I_{ан}$.

Модуль обобщённого вектора $I_{ан}$ стороны переменного тока выпрямителя, соответствующий периодическим составляющим тока замыкания в фазах электрической цепи А, В, С стороны переменного тока выпрямителя, равных

$$i_{пА} = I_m \cdot \sin(\omega t + \beta) \quad \text{и} \quad i_{пВ,С} = I_m \cdot \sin(\omega t + \beta \pm 2 \cdot \pi/3),$$

где $i_{пА}, i_{пВ}, i_{пС}$ – мгновенные значения периодических составляющих тока замыкания фаз электрической цепи А, В, С;

I_m – амплитуда периодической составляющей тока замыкания;

$\beta = \alpha - \varphi$ – угловая характеристика,

определяется по следующему выражению:

$$|I_{ан}| = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)(i_{пА}^2 + i_{пВ}^2 + i_{пС}^2)} = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)\{[I_m \cdot \sin(\omega t + \beta)]^2 + [I_m \cdot \sin(\omega t + \beta - 2 \cdot \pi/3)]^2 + [I_m \cdot \sin(\omega t + \beta + 2 \cdot \pi/3)]^2\}},$$
$$|I_{ан}| = I_m.$$

Расположим ось А фазной системы координат АВС по аналогии с [8] вертикально (рис. 3). Обобщённый вектор периодической составляющей тока замыкания $I_{ан}$ принимаем в качестве базисного вектора и совместим его с вертикальной осью А. В неподвижной системе фазных координат АВС обобщённый вектор $I_{ан}$ совпадает с вектором периодической составляющей тока замыкания I_A в фазе А электрической цепи. Обобщённый вектор $I_{ан}$ вращается в положительном направлении – против часовой стрелки с угловой частотой ωt . Этот факт отражается на рис. 3 добавлением индекса $I_{ан\omega}$. Мгновенное значение обобщённого вектора $I_{ан}$ находится как проекция $I_{ан}$ на вертикальную ось А, значение которого определяется косинусом угла ωt . Угол ωt – это угол между осью А фазной системы координат АВС, расположенной вертикально, и обобщённым вектором $I_{ан}$ (на рис. 3 угол ωt не показан). Тогда мгновенное значение обобщённого вектора $I_{ан}$ в фазной системе координат АВС будет подчиняться косинусоидальному закону $\cos(\omega t)$. Отсюда следует, что обобщённый вектор периодической составляющей тока замыкания $I_{ан}$ на стороне переменного тока выпрямителя определяется следующей функциональной зависимостью:

$$I_{ан} = I_m \cdot \cos(\omega t). \quad (2)$$

где ω – угловая частота обобщённого вектора ЭДС $I_{ан}$ в фазных координатах АВС на стороне переменного тока выпрямителя;

I_m – амплитуда тока замыкания на стороне переменного тока выпрямителя.

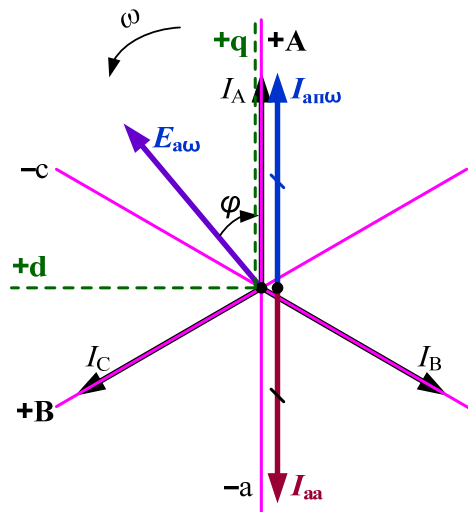


Рис. 3. Обобщённые векторы ЭДС $E_{a\omega}$, периодической составляющей $I_{an\omega}$ и аperiodической составляющей I_{aa} тока замыкания стороны *переменного тока* выпрямителя в неподвижной системе фазных координат ABC:

ω – положительное направление вращения векторов $I_A, I_B, I_C, E_{a\omega}, I_{an\omega}$ и вращения прямоугольной системы координат dq; I_A, I_B, I_C – векторы фазных токов стороны *переменного тока* выпрямителя; φ – угол сдвига фаз между обобщённым вектором ЭДС $E_{a\omega}$ источника питания и обобщённым вектором периодической составляющей тока замыкания $I_{an\omega}$; +A, +B, +C – положительные направления осей неподвижной системы координат ABC; –a, –b, –c – отрицательные направления осей системы координат ABC; +d, +q – положительные направления осей вращающейся прямоугольной системы координат dq; $E_{a\omega}, I_{an\omega}$ – вращающиеся обобщённые векторы ЭДС и тока в фазной системе координат ABC; I_A, I_B, I_C – вращающиеся векторы токов в исходной системе координат $i_{(A,B,C)t}$; I_{aa} – неподвижный обобщённый вектор аperiodической составляющей тока замыкания в фазной системе координат ABC $I_{aa} = e^{-\omega t/2\pi}$. на стороне переменного тока выпрямителя

Рассмотрим вращающуюся с угловой скоростью ωt в положительном направлении прямоугольную систему координат dq (см. рис. 3). Расположим её относительно неподвижной фазной системы координат ABC так, как показано на рис. 3. Относительно *вращающейся* прямоугольной системы координат dq *вращающийся* с той же с угловой скоростью ωt обобщённый вектор тока замыкания I_{an} стороны переменного тока выпрямителя будет неподвижен и равен по значению модулю обобщённого вектора тока замыкания $|I_{an}|$. Следовательно, прямоугольную систему координат dq можно рассматривать в качестве системы координат стороны постоянного тока выпрямителя. В новой прямоугольной системе координат dq обобщённый вектор тока замыкания I_{an} становится постоянным по значению и постоянным по направлению на стороне постоянного тока. Переход из стационарной системы фазных координат ABC стороны переменного тока выпрямителя к вращающейся с угловой скоростью ωt прямоугольной системе координат dq представляет собой математическую операцию, эквивалентную выпрямлению переменного тока в постоянный ток вентильным устройством ВУ выпрямителя.

Поэтому *модуль* обобщённого вектора $|I_{an}|$ представляет собой периодическую составляющую тока замыкания стороны переменного тока, приведённую к стороне постоянного тока выпрямителя, и может рассматриваться как постоянный ток на стороне постоянного тока выпрямителя.

$$I_{dn} = I_{d0} \equiv |I_{an}| = I_m, \quad (3)$$

где \equiv – знак, обозначающий пропорциональность между значениями токов I_{dn} и $|I_{an}|$.

Обобщённый вектор аperiodической составляющей тока трёхфазной системы I_{aa} .

В отличие от обобщённого вектора периодической составляющей тока замыкания трёхфазной системы I_{an} , который вращается с угловой частотой ωt , обобщённый вектор аperiodической составляющей тока замыкания I_{aa} можно представить неподвижным вектором в системе фазных координат ABC, затухающим по значению от начального значения $I_{aa|0|}$ до нуля.

Модуль обобщённого вектора $|I_{aa}|$ стороны переменного тока выпрямителя, соответствующий аperiodическим составляющим тока замыкания в фазах электрической цепи А, В, С стороны переменного тока выпрямителя, равным значениям

$$i_{aA} = I_m \cdot \sin(\beta) \cdot e^{(-\omega t/T_a)} \quad \text{и} \quad i_{aBC} = I_m \cdot \sin(\beta \mp 2 \cdot \pi/3) \cdot e^{(-\omega t/T_a)},$$

где i_{aA}, i_{aB}, i_{aC} – мгновенные значения периодических составляющих тока замыкания фаз электрической цепи А, В, С;

I_m – амплитуда периодической составляющей тока замыкания;

$\beta = \alpha - \varphi$ – угловая характеристика,

определяется по следующему выражению:

$$|I_{aa}| = \sqrt{((2/3)(i_{aA}^2 + i_{aB}^2 + i_{aC}^2))} = \sqrt{((2/3)\{[I_m \cdot \sin(\beta)]^2 + [I_m \cdot \sin(\beta - 2 \cdot \pi/3)]^2 + [I_m \cdot \sin(\beta + 2 \cdot \pi/3)]^2 \cdot e^{2(-\omega t/T_a)}\})},$$

$$|I_{aa}| = -I_m \cdot e^{-\omega t/T_a}. \quad (4)$$

Модуль обобщённого вектора $|I_{aa}|$, соответствующий аperiodическим составляющим тока замыкания, должен иметь знак минус « \leftarrow » с целью соблюдения закона сохранения энергии. В начальный момент времени $t = 0$ начальное значение периодической составляющей $I_{an|0|}$ и аperiodического $I_{aa|0|}$ тока замыкания должны быть равны и *противоположно направлены*, потому что в исходной системе координат между периодическими $i_{an|0|}$ и аperiodическими $i_{aa|0|}$ составляющими тока замыкания наблюдается такое соотношение *в каждой* из фаз электрической цепи А, В, С.

Рассмотрим вращающуюся с угловой скоростью ωt в положительном направлении прямоугольную систему координат dq. Относительно неё *неподвижный* обобщённый вектор \underline{I}_{aa} аperiodической составляющей тока замыкания стороны переменного тока выпрямителя будет вращаться с угловой частотой ωt и равен по значению модулю обобщённого вектора тока

$$I_{da} = |I_{aa}| \cdot \cos(\omega t) = -I_{d0} \cdot e^{(-\omega t/T_a)} \cdot \cos(\omega t). \quad (5)$$

Функция косинуса $\cos(\omega t)$ взята из соображения получения мгновенного значения вращающейся прямоугольной системы координат dq относительно обобщённого вектора \underline{I}_{da} , как проекция вектора \underline{I}_{da} на ось d, значение которой определяется косинусом угла ωt . Здесь под индексом **da** понимается не проекция на ось d вращающейся прямоугольной системы координат dq, а значение \underline{I}_{da} аperiodической составляющей тока замыкания стороны постоянного тока выпрямителя.

В новой вращающейся прямоугольной системе координат dq обобщённый вектор тока замыкания \underline{I}_{aa} становится переменным. Переход из стационарной фазной системы координат ABC стороны переменного тока выпрямителя к вращающейся с угловой скоростью ωt прямоугольной системе координат dq представляет собой математическую операцию преобразования тока замыкания \underline{I}_{aa} стороны переменного тока в ток замыкания \underline{I}_{da} стороны постоянного тока выпрямителя.

Поэтому *модуль* обобщённого вектора $|I_{aa}|$ представляет собой \underline{I}_{aa} аperiodическую составляющую тока замыкания стороны переменного тока, приведённую к стороне постоянного тока и умноженный на $\cos(\omega t)$. Он может рассматриваться как ток на стороне постоянного тока выпрямителя.

$$I_{da} \equiv |I_{aa}| \cos(\omega t),$$

где \equiv – знак, обозначающий пропорциональность между значениями токов I_{da} и $|I_{aa}|$.

Итак, на стороне *переменного* тока полное значение обобщённого вектора тока замыкания \underline{I}_a находится путём сложения периодической составляющей (2) и аperiodической составляющей (4) тока замыкания

$$I_a = I_{an} + I_{aa} = I_m \cdot \cos(\omega t) - I_m \cdot e^{-\omega t/T_a}. \quad (6)$$

На рис. 4 представлена зависимость $\underline{I}_a = f(\omega t)$ безразмерного тока замыкания \underline{I}_a стороны *переменного* тока выпрямителя от безразмерного времени ωt

$$\underline{I}_a = I_a/I_m = \cos(\omega t) - e^{-\omega t/T_a} = \cos(\omega t) - e^{-\omega t/2\pi},$$

где $T_a = 2\pi$ – безразмерное значение постоянной времени затухания.

С целью наилучшего восприятия зависимости $I_a = f(\omega t)$ знаки периодической и аperiodической составляющих тока замыкания сменены на противоположные знаки.

На стороне *постоянного* тока полное значение обобщённого вектора тока замыкания \underline{I}_d находится путём сложения периодической составляющей (3) и аperiodической составляющей (5) тока замыкания

$$I_d = I_{dn} + I_{da} = I_{d0} - I_{d0} \cdot e^{-\omega t/T_a} \cdot \cos(\omega t). \quad (7)$$

На рис. 5 представлена зависимость $\underline{I}_d = f(\omega t)$ безразмерного тока замыкания \underline{I}_d стороны *постоянного* тока выпрямителя от безразмерного времени ωt

$$\underline{I}_d = I_d/I_{d0} = I_{dn} + I_{da} = 1 - e^{-\omega t/T_a} \cdot \cos(\omega t) = 1 - e^{-\omega t/2\pi} \cdot \cos(\omega t),$$

где I_{d0} – установившееся значение тока замыкания стороны постоянного тока выпрямителя (см. формулу (1));

$T_a = 2\pi$ – безразмерное значение постоянной времени затухания.

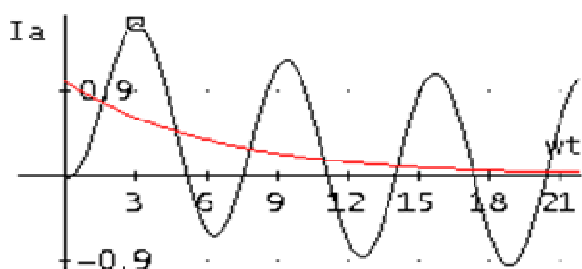


Рис. 4. Обобщённая зависимость тока замыкания $\underline{I}_a = -\cos(\omega t) + e^{-\omega t/2\pi}$ стороны *переменного* тока выпрямителя, обозначенная квадратом \square , и зависимость аperiodической составляющей тока замыкания $\underline{I}_{aa} = e^{-\omega t/2\pi}$ на стороне переменного тока выпрямителя

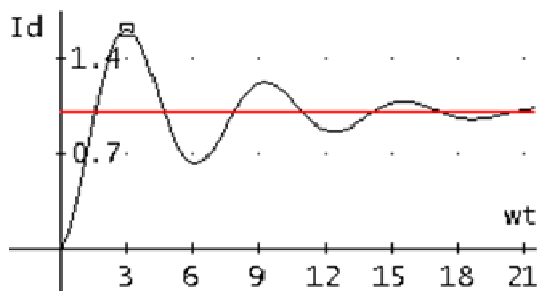


Рис. 5. Обобщённая зависимость тока замыкания $I_d = 1 - e^{-\omega t/2\pi} \cdot \cos(\omega t)$ стороны *постоянного тока* выпрямителя, обозначенная квадратом \square , и зависимость периодической составляющей тока замыкания $I_{da} = e^{-\omega t/2\pi} \cdot \cos(\omega t)$ на стороне переменного тока выпрямителя

Следует отметить приближённость полученного выражения тока замыкания I_d , поскольку не учитывался второстепенный фактор влияния друг на друга составляющих выражения (6) при преобразовании его в выражение (7). В первом приближении применения формулы (7) и соответственно не учёт упомянутого второстепенного фактора является вполне допустимым, позволяющим оценить достоверность результата испытаний коммутационного аппарата.

Обобщённый вектор ЭДС источника питания трёхфазной системы E_a .

Модуль обобщённого вектора $|E_a|$ стороны переменного тока выпрямителя, соответствующий периодическим составляющим тока замыкания в фазах электрической цепи А, В, С стороны переменного тока выпрямителя равных

$$e_A = E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad \text{и} \quad e_{B,C} = E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha \mp 2 \cdot \pi/3),$$

где e_A, e_B, e_C – мгновенные значения источника питания фаз электрической цепи А, В, С;

E_m – амплитуда фазной ЭДС источника питания;

α – начальная фаза ЭДС в момент замыкания в фазе электрической цепи А,

определяется по следующему выражению:

$$|E_a| = \sqrt{(2/3)(e_A^2 + e_B^2 + e_C^2)} = \sqrt{(2/3)\{[E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)]^2 + [E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - 2 \cdot \pi/3)]^2 + [E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha + 2 \cdot \pi/3)]^2\}},$$

$$|E_a| = E_m.$$

Обобщённый вектор ЭДС E_a источника питания на стороне переменного тока выпрямителя опережает обобщённый вектор тока замыкания I_a на угол φ (см. рис. 3).

Обобщённый вектор E_a вращается в положительном направлении – против часовой стрелки с угловой частотой ωt . Этот факт отражается на рис. 3 добавлением индекса $I_{ан\omega}$.

Мгновенное значение обобщённого вектора E_a определяется проекцией E_a на вертикальную ось А, значение которого определяется косинусом угла $\omega t + \varphi$. Угол $\omega t + \varphi$ – это угол между осью А фазной системы координат АВС, расположенной вертикально, и обобщённым вектором E_a (на рис. 3 угол $\omega t + \varphi$ не показан). Значит, мгновенное значение обобщённого вектора E_a в фазной системе координат АВС будет подчиняться косинусоидальному закону $\cos(\omega t + \varphi)$.

Обобщённый вектор ЭДС трёхфазного источника питания E_a , соответствующий периодическим, *синусоидальным* составляющим ЭДС e_A, e_B, e_C в фазах электрической цепи А, В, С, в фазных координатах АВС на *стороне переменного тока* примет вид

$$E_a = E_m \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad (8)$$

где ω – угловая частота обобщённого вектора ЭДС E_a в фазных координатах АВС на стороне переменного тока выпрямителя;

E_m – амплитуда фазной ЭДС источника питания выпрямителя;

φ – угол сдвига фаз между обобщённым вектором ЭДС $E_{ан\omega}$ источника питания и обобщённым вектором периодической составляющей тока замыкания $I_{ан\omega}$.

Относительно вращающейся с угловой скоростью ωt прямоугольной системы координат dq, *вращающийся* с той же с угловой скоростью ωt относительно неё обобщённый вектор ЭДС E_a трёхфазного источника питания стороны переменного тока выпрямителя будет неподвижен и равен по значению модулю обобщённого вектора ЭДС $|E_a| = E_m$. В новой вращающейся прямоугольной системе координат dq обобщённый вектор ЭДС E_a трёхфазного источника питания становится постоянным по значению и по направлению с постоянным током I_d на стороне постоянного тока выпрямителя (рис. 6).

Переход из стационарной фазной системы координат АВС стороны переменного тока выпрямителя во вращающуюся с угловой скоростью ωt прямоугольную систему координат dq является математической операцией, эквивалентной преобразованию переменной ЭДС в постоянную ЭДС вентильным устройством ВУ выпрямителя.

Поэтому *модуль* обобщённого вектора ЭДС E_a трёхфазного источника питания представляет собой ЭДС стороны переменного тока, приведённый к стороне постоянного тока, и может рассматриваться как ЭДС на стороне постоянного тока выпрямителя.

$$E_d = |E_a| = E_m. \quad (9)$$

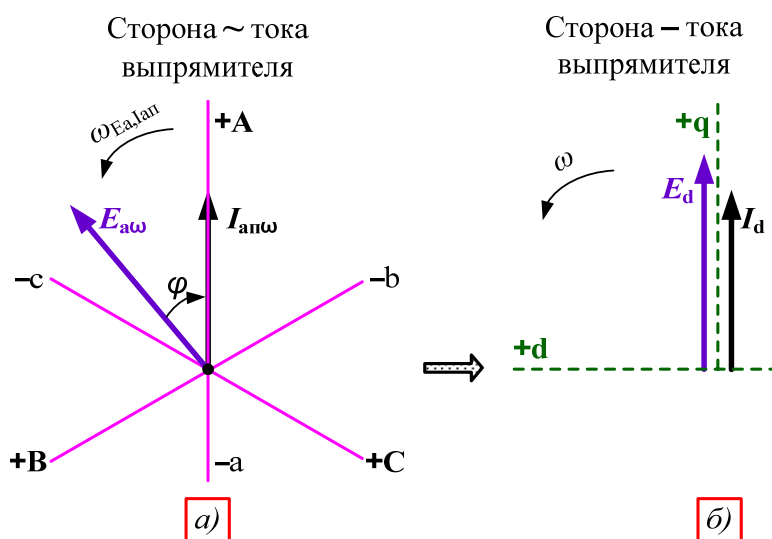


Рис. 6. а) Обобщённые векторы ЭДС $E_{a\omega}$ и периодической составляющей тока замыкания $I_{a\pi\omega}$ стороны переменного тока выпрямителя в неподвижной системе фазных координат ABC. $\omega_{Ea, Iap}$ – положительное направление вращения обобщённых векторов $E_{a\omega}$, $I_{a\pi\omega}$; +A, +B, +C – положительные направления осей неподвижной системы координат ABC; -a, -b, -c – отрицательные направления осей системы координат ABC.

б) Векторы ЭДС E_d и тока замыкания I_d стороны постоянного тока выпрямителя во вращающейся прямоугольной системе координат dq:
 ω – положительное направление вращения векторов E_d , I_d и прямоугольной системы координат dq

Во вращающейся прямоугольной системе координат dq вектор ЭДС E_d совпадает по направлению с постоянным током I_d на стороне постоянного тока выпрямителя (см. рис. 6, б), что следует из выражений (7) и (9).

На основании вышеизложенного следует вывод о решающем влиянии вентильного устройства на технологию применения структурного метода расчёта токов замыкания в цепях выпрямительных установок, преобразующего переменный ток в постоянный ток, в силу следующих его особенностей.

Во-первых, формирует структуру схемы замещения за счёт учёта схемы выпрямителя и режимов работы вентилялей.

Во-вторых, изменяет начальное значение постоянного тока I_{d0} по отношению к амплитуде тока замыкания на стороне переменного тока выпрямителя I_m (см. формулу(1)).

В-третьих, изменяет форму тока и ЭДС источника питания (см. соответственно формулы (6), (7) и (8), (9)).

В-четвёртых, устраняет сдвиг фаз (угол φ) между током замыкания I_d и ЭДС E_d источника питания (см. рис. 6, б) на стороне постоянного тока выпрямителя.

Порядок применения структурного метода.

1. Формирование исходной схемы замещения стороны переменного тока выпрямителя с учётом режимов работы вентилялей.

2. Формирование структуры схемы замещения стороны постоянного тока выпрямителя с учётом схемы выпрямителя и режимов работы вентилялей.

3. Определение конкретной структуры выражения тока замыкания I_d стороны постоянного тока выпрямителя, если доля тока замыкания, формируемого стороной переменного тока выпрямителя, значима по отношению к доле тока замыкания, формируемого стороной постоянного тока выпрямителя. Общая структура выражения относительного тока замыкания \underline{I}_d имеет вид

$$\underline{I}_d = \frac{I_d}{I_{d0}} = 1 - \frac{\underline{Z}_a}{\sqrt{(lR_a + R_d)^2 + (lX_a)^2}} e^{-\omega t/T_a} \cos(\omega t) - \left(1 - \frac{\underline{Z}_a}{\sqrt{(lR_a + R_d)^2 + (lX_a)^2}} \right) e^{-\omega t/T_a},$$

где $I_{d0} = \frac{kE_m}{\sqrt{(lR_a + R_d)^2 + (lX_a)^2}}$ – установившееся значение тока замыкания стороны постоянного тока выпрямителя;

k и l – коэффициенты приведения, определяемые схемой выпрямителя;

R_a и X_a – соответственно суммарные активное и индуктивное сопротивление одной фазы стороны переменного тока;

E_m – амплитуда фазной ЭДС источника питания выпрямителя;

$Z_a = \sqrt{(lR_a)^2 + (lX_a)^2}$ – приведённое к стороне постоянного тока выпрямителя значение модуля сопротивления стороны переменного тока выпрямителя;

ωt – безразмерное время;

T_a – значение безразмерной постоянной времени затухания свободной составляющей тока замыкания.

Например, значение коэффициентов приведения k , l вышерассмотренной трёхфазной мостовой схемы равно $k = 2$ и $l = 3/2$. Замыкание производилось на выводах постоянного тока вентильного устройства, когда сопротивления стороны постоянного тока $R_d = 0$ и $X_d = 0$.

4. Расчёт тока замыкания I_d стороны постоянного тока выпрямителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций / под ред. М. Г. Шалимова. – Москва : Транспорт, 1990. – 127 с.
2. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии / под ред. А. Крогериса. – Рига : Зинатне, 1969. – 530 с.
3. Тереза Г. П. Заводские испытательные станции низковольтной аппаратуры. – Москва–Ленинград : ГЭИ, 1949. – 159 с.
4. ГОСТ 29176–91(2004). Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчёта в электроустановках постоянного тока. – Москва : Изд-во стандартов, 2009. – 35 с.
5. Электронная и преобразовательная техника / под ред. С. Н. Засорина. – Москва : Транспорт, 1981. – 319 с.
6. Бей Ю. М., Мамошин Р. Р., Пупынин В. Н., Шалимов М. Г. Тяговые подстанции : Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – Москва : Транспорт, 1986 г. – 319 с.
7. Полупроводниковые преобразовательные агрегаты тяговых подстанций / С. Д. Соколов, Ю. М. Бей, Я. Д. Гуральник, О. Г. Чаусов. – Москва : Транспорт, 1979. – 264 с.
8. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. – Москва–Ленинград : Энергия, 1970. – 519 с.
9. Копылов И. П. Электромеханические преобразователи энергии. – Москва : Энергия, 1973. – 400 с.
10. Постников И. М. Обобщённая теория и переходные процессы электрических машин: Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1975. – 319 с.

REFERENCES

1. *Dvenadcatipul'sovye poluprovodnikovye vypryamiteli tyagovyh podstancij* [Semiconductor 12 pulse rectifiers for traction substations] / pod red. M. G. SHalimova. Moskow : Transport, 1990. 127 p.
2. *Poluprovodnikovye preobrazovateli elektricheskoy energii* [Semiconductor converters of electrical energy] / pod red. A. Krogerisa. Riga : Zinatne, 1969. 530 p.
3. *Tereza G. P. Zavodskie ispytatel'nye stancii nizkovol'tnoj apparatury* [Factory test stations of low-voltage equipment]. Moskow–Leningrad : GEI, 1949. 159 p.
4. *GOST 29176–91(2004). Korotkie zamykaniya v elektroustanovkah. Metodika raschyota v elektroustanovkah postoyannogo toka* [GOST 29176-91(2004). Short circuits in electrical installations. The method of calculation of electrical direct current]. Moskow : Izd-vo standartov, 2009. – 35 p.
5. *Elektronnaya i preobrazovatel'naya tekhnika / pod red. S. N. Zasorina* [The electronic and transducer equipment / under the editorship of S. N. Zasorina]. Moskow : Transport, 1981. 319 p.
6. *Bej YU. M., Mamoshin R. R., Pupynin V. N., SHalimov M. G. Tyagovye podstancii : Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta* [Traction substation]. Moskow : Transport, 1986. 319 p.

7. *Poluprovodnikovye preobrazovatel'nye agregaty tyagovyh podstancij* [Semiconductor rectifier units for traction substations] / S. D. Sokolov, YU. M. Bej, YA. D. Gural'nik, O. G. CHausov. Moscow : Transport, 1979. 264 p.

8. Ul'yanov S. A. *Elektromagnitnye perekhodnye processy v elektroenergeticheskikh sistemah* [Electromagnetic transients in electric power systems]. Moscow–Leningrad : Energiya, 1970. 519 p.

9. Kopylov I. P. *Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii* [Electromechanical energy converters]. – Moscow : Energiya, 1973, 400 p.

10. Postnikov I. M. *Obobshchyonnaya teoriya i perekhodnye processy elektricheskikh mashin* [Generalized theory and transients of electric machines] : *Uchebnik dlya vuzov, izd. 2-e, pererab. i dop.* Moscow : Vysshaya shkola, 1975. 319 p.

•••••

Александров Дмитрий Степанович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение». Сфера научных интересов – электролаборатории, лаборатории по испытанию электрических аппаратов, электрические аппараты, переходные процессы в распределительных сетях и электроэнергетических системах.

Калашиников Алексей Сергеевич, магистрант Ульяновского государственного технического университета.

Поступила 12.03.2019 г.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 330.342

В. В. КУЗНЕЦОВ, Р. А. САЙФУТДИНОВ, И. С. БОЛЬШУХИНА

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ЭКОНОМИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены задачи экономического развития, проанализированы пути их решения, представлены современные механизмы управления рыночной экономикой на современном этапе, интеграция научных организаций в реальном секторе экономики.

Ключевые слова: механизмы управления экономикой, рынок труда, трудовое партнёрство, товаро-производящие отрасли цифровой экономики, научно-образовательные центры.

В научно-теоретическом журнале «Вестник Ульяновского государственного технического университета» №4 за 2016 год в статье затронуты трудовые отношения, занятость населения России современных рыночных условиях их перспективы в условиях постиндустриального развития. В данном материале рассмотрены задачи и проанализированы пути их решения Правительством России.

Майские Указы (2018 г.) Президента ставят цели перед Правительством России по обеспечению присутствия Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития.

В числе важнейших задач достижения этой цели являются [1]:

– создание не менее 15 научно-образовательных центров мирового уровня на основе интеграции университетов и научных организаций и их кооперации с организациями в реальном секторе экономики;

– формирование системы подготовки и профессионального роста научных и научно-педагогических кадров, обеспечивающих условия осуществления молодыми учёными научных исследований и разработок, создания научных лабораторий и конкурентоспособных коллективов;

– формирование к 2024 году в обрабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве, в сфере услуг глобальных конкурентоспособных несырьевых секторов (продукция машиностроения, агро-

промышленного комплекса, других услуг), общая доля экспорта которых должна быть доведена до 20 % валового внутреннего продукта.

Правительству России предстоит громадная задача: в кратчайшие временные рамки приостановить утечку рабочей силы из всех товаро-производящих отраслей, создать указанные в президентском послании научно-образовательные центры, определить их отраслевое направление, с выявлением потребности проектируемой продукции или услуги, «связать» их деятельность с организациями в реальном секторе экономики, возможно, построить новые производственные единицы с решением кадрового обеспечения нового типа производств.

Современному Правительству России не приходилось ещё решать такие задачи по укреплению экономики. И тут неминуемо встают вопросы:

– первое, где брать финансовые ресурсы на создание таких комплексов, оснащение лабораторным оборудованием, обеспечение их кадрами научных работников? Очевидно, сегодняшнему Правительству России необходимо остановить утечку финансов из России, размеры которых исчисляются, как показывает д. э. н., профессор МГИМО В. Ю. Катасонов, миллиардами. Исследования РАНХиГС показывают, что в стране число долларовых миллиардеров, состояние которых превысило миллиард долларов, достигло 132. Таким образом, в карманах 0,1% населения России сконцентрировано 62% совокупного финансового состояния всей страны. Кроме того, (например, ежегодно за 2014–2016 гг.) передавались в суд по 13 тыс. коррупционных дел. Ущерб только за 2016 год составил 111,3 млрд руб. [2];

– второе, необходимо обеспечить производства нового типа организаторами производства, технологами, то есть по всей цепочке от создания до выхода этой продукции «в металле»;

© Кузнецов В. В., Сайфутдинов Р. А.,
Большухина И. С., 2019

– третье, какие подразделения Правительства и на каком уровне (федеральном, региональном или на уровне бизнес-единиц) будут функционировать и кто (какая организация) будет управлять этими научно-образовательными центрами мирового уровня?

Одними только механизмами рыночной экономики, как нам представляется, без использования элементов централизованных механизмов управления экономикой Правительству России решить перечисленные поставленные Президентом задачи будет весьма сложно.

В качестве примера можно сослаться на опыт, который был использован в России в годы создания и становления нового государства. История становления советской экономики, начиная с 1918 года, показывает, что была создана единая структура управления промышленностью, сельским хозяйством, транспортом, такой механизм, как ВСНХ с соответствующим количеством отраслевых главных управлений.

Такая мера позволила уже в первую пятилетку (1928–1933 гг.) реконструировать 800 предприятий, увеличить объём ВВП на 53,4%, промышленного производства – на 39,5%, продукцию машиностроения поднять в 4 раза. Во второй пятилетке (1933–1937 гг.) 80% продукции было получено на новых и реконструированных предприятиях, в 2 раза увеличились доходы населения, к концу 1937 года на селе были созданы 5518 единиц машинно-тракторных станций (МТС). В третью пятилетку, перед Великой Отечественной войной, были построены сотни предприятий-дублёров в восточных районах страны. С начала войны по февраль 1942 г. были эвакуированы 2600 предприятий и 10 млн рабочих в восточные районы страны. Созданный за все довоенные годы производственный потенциал позволил в начале войны увеличить в разы объёмы производства: уже в 1942 г. производство военной продукции по сравнению с 1940 г. увеличилось на Урале в 5 раз, в Поволжье – в 9 раз, в Западной Сибири – в 27 раз [4].

За годы жизнедеятельности СССР была создана советская система социальной защиты населения, которая выражалась в том, что государство, являясь выразителем интересов трудовых людей и всего населения, выступало и как законодатель, и в основном как работодатель, а социальные гарантии (жильё, лечение, занятость, повышение квалификации, контроль над деятельностью администрации) в основном обеспечивались в рамках трудовых коллективов. Государство централизованно устанавливало трудовые нормы, нормы оплаты за труд: отраслевые,

квалификационные различия, различия оплаты труда по категориям работников. Была налажена система народного контроля при посредстве Советов трудовых коллективов.

В современных условиях (в рыночной системе) трудовое партнёрство между работодателями и работниками значительно сузилось. Следует отметить, что с началом реформ (1991–1995 гг.) началось сокращение темпов роста и в ряде случаев и сокращение объёмов производства. Индексы производства по экономической деятельности по обрабатывающим производствам России со 100% в 1991 г. упали до 85,8% в 2016 году, а по производству машин и оборудования – до 45,7%, удельный вес занятых в неофициальном секторе экономики достиг до 50 млн из 82 млн трудоспособного населения. По подсчётам Центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП) в третьем квартале 2017 года о банкротстве объявили 3227 российских компаний, за январь-сентябрь – 9733 предприятия. Это на 12,4% больше, чем за аналогичный период 2016 года [6].

В настоящее время имеется проблема, заключающаяся в том, что задача возвращения в строй бывших заводов, сельхозпредприятий – задача не из легких, о чем, например, говорят данные по деиндустриализации в сельскохозяйственном производстве Ульяновской области. В последние за 1990-м годы в стране были утеряны высокомеханизированные мощности в растениеводстве и в животноводстве (таблицы 1, 2). Исследования доктора экономических наук Ю. В. Яковца, показывают, что в период реформ 90-х Россия почти во всех отраслях материального производства, особенно в машиностроении, строительстве, в строительной индустрии и в сельскохозяйственном производстве, сделала шаг назад по многим позициям к уровню 30-х годов, а в сельскохозяйственном производстве – вовсе к уровню начала века. Зачастую в техническом оснащении сельскохозяйственного производства происходит подмена существа дела статистическими данными, характеризующими состояние индивидуальных подсобных хозяйств на селе [7].

«Индивидуальные подворья теперь вооружены 5,2 тысячами тракторов, 34,3 тысячами мотоблоков и культиваторов, 898 доильными установками, 23,3 тысячами газонокосилок, 10,9 тыс. ед. мукомольного оборудования и 4,7 тыс. сепараторов для молока» – приводится в статье «Техническое оснащение сельского хозяйства региона». Однако, как мы видим из данных табл. 1, 2, 3, в десятки раз сокращено количество ком-

байнов всех назначений, численность крупного рогатого скота и более чем на 1/3 сокращены посевные площади, в 3 раза сокращены надои молока, да самих коров-то осталось почти в 5 раз меньше, что было в селах области 1990 году.

Статью следовало бы назвать «Техническое оснащение подсобных хозяйств населения региона», так как та техника, о которой в этой статье говорится, в основном нужна сельчанам для обустройства личных подсобных хозяйств, а не для восстановления крупных сельскохозяйствен-

ных предприятий. За годы реформ произошло резкое увеличение объемов завозимых товаров в Россию по сравнению с завозом в советский период: по мясу и мясо-продуктам и по животному маслу – 2,1 раза, по сырам – 23,4 раза, по кондитерским изделиям – 8,4 раза, цитрусовым – 4,5 раза и т. д. За период 1990–2013 гг. в объеме потреблении населения доля импорта продовольственных товаров выросла с 6,3% до 20,5%, то есть более чем в 3,2 раза [5].

Таблица 1
Состояние механизации сельскохозяйственного производства в Ульяновской области за период с 1990 по 2016 гг. (ед.)

Сельскохозяйственная техника	1990	1999	2009	2013	2016	Сокращ., раз
Тракторы	17 660	10 641	2 712	2 433	1883	9,38
Комбайны, из них:						
– зерноуборочные	7 062	3 640	963	808	612	11,5
– кормоуборочные	1 511	921	152	116	85	17,1
– картофелеуборочные	227	57	13	11	11	20,6
– свеклоуборочные	244	125	29	24	18	13,6
Всего ед. техники	26704	15384	3840	3392	2609	10,2

Таблица 2
Численность скота в хозяйствах всех категорий Симбирской губернии – Ульяновской области (тыс. голов)

Численность скота	1895	1911	1990	2017	в 1990 г. к 1911 г. (в %, раз)	в 2017 г. к 1990 г. сниж., раз
Всего КРС и мелкого скота, в т. ч.:	1 356,8	1 431,7	1 831,0	129,0	↑1,3 раз	↓14,2 раза
– коров	279,5	306,6	244,0	51,0	↓1,25 раз	↓4,78 р.
– овец простых	613,0	731,0	527,0	81,3	↓1,38 раз	↓6,48 р.
– свиней	132,5	81,1	583,0	220,0	↑2,71 раз	↓2,65 р.

Таблица 3
Динамика использования посевных площадей в Ульяновской области за 1990–2017 гг. (тыс. га)

Показатели	1990	2008	2010	2013	2017	в 2017 % к 1990 г.
Зерновые культуры	983,1	576,5	595,7	580,9	587,09	59,7
Кормовые культуры	521,8	168,9	163,1	167,3	154,4	29,5
Картофель	41,2	23,1	24,0	22,6	20,0	48,5
Овощи	6,7	5,0	5,8	6,3	6,0	29,5
Вся посевная площадь	1 650,0	878,9	950,2	1 012,4	1031	62,5

За 2017 год было произведено продукции растениеводства на 3033,2 млрд руб., животноводства – на 2620,8 млрд руб., при этом за период 2010–2017 гг., наибольшую долю в структуре производства занимают сельскохозяйственные организации. Их доля увеличивается на всём периоде, в 2010 г. доля составляла 44,5%, в 2017– 52,7%. В период с 2010 по 2017 доля хозяйств населения сократилась с 48,3% до 34,6%. Доля крестьянских хозяйств в структуре производства на всём периоде увеличивается с 7,2% до 12,7% [3].

Президент России снова и снова зовёт к активным действиям. Ведущими научными подразделениями вузов проводится научно-исследовательская и инновационная деятельность в области индустрии радиационных технологий, нанотехнологий, фундаментальных исследований в области математического моделирования, теоретической физики, энергосберегающих технологий и альтернативных источников энергии, биоинженерии, информационных технологий, растениеводства, земледелия и агроэкологии, ветеринарии, технологий рационального природопользования, здоровьесберегающих технологий и в других областях. Общий объём научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных вузами и филиалами государственных вузов, расположенных на территории региона, в 2016 году составил 327 933,9 тыс. руб. [8].

Министр цифровой экономики Ульяновской области Р. Давлятшин на страницах «Делового обозрения» пишет, что наши вузы, являясь неотъемлемой частью инновационной инфраструктуры, берут на себя не только образовательную, но и научно-исследовательскую функцию, активно участвуют в инновационной политике региона, например: УлГПУ занимает 5-е место среди самых востребованных гуманитарных вузов; УлГАУ– в тройке востребованных аграрных вузов. В состав инновационной инфраструктуры вуза входят 11 научно-производственных лабораторий и центров. Для реализации проектов созданы два малых предприятия; по количеству проданных лицензий в 2017 году УлГТУ был лидером в Приволжском федеральном округе. Из 196 заявок на объекты промышленной собственности УлГТУ получил 142.

Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.12.2017 №1206 утверждён перечень федеральных инновационных площадок на 2018–2023 годы. В указанный пе-

речень вошли Ульяновский государственный университет и Ульяновский государственный технический университет.

На 1 января 2018 г., например, в УлГТУ накоплен значительный потенциал интеллектуальной собственности, в том числе: 3823 – на изобретения, 763 – на полезные модели, 6 – на промышленные образцы, 616 – на программы для ЭВМ, 18 – на базы данных, 2 – на товарный знак.

Данные по университетам, лабораториям, по инновационным бизнес-структурам радуют – жива научная мысль, молодые специалисты приходят в науку, стараются создавать, чего ещё не было до них.

Но меняются времена, теперь надо сконцентрировать научные центры на основе интеграции научных организаций и их кооперации с организациями в реальном секторе экономики, создавать «прорывные производства нового технологического уровня с тем, чтобы экспорт продукции несырьевых отраслей (продукция машиностроения, агропромышленного комплекса) и объёмы услуг довести до 20% ВВП».

Выступая с обращением к Федеральному собранию, Президент РФ В. В. Путин отметил:

«Для мощного технологического развития нам нужно выстроить современную модель исследований и разработок. Именно для этого мы создаём в регионах научно-образовательные центры, которые призваны интегрировать все уровни образования, возможности научных организаций и бизнеса. В течение трёх лет такие центры должны быть созданы в 15 субъектах Российской Федерации, в том числе первые пять – в этом году, три из них – в Тюменской и Белгородской областях и Пермском крае уже в высокой степени готовности и в этом году должны быть запущены».

Стране необходимы грамотные активные специалисты, способные работать на передовых производствах, создавать и использовать прорывные технические решения. Для этого нужно обеспечить широкое внедрение обновленных учебных программ на всех уровнях профессионального образования, организовать подготовку кадров для различных отраслей экономики и обеспечить выпускников гарантированными рабочими местами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Москва, Кремль 7 мая 2018.

2. Калинина М. Техническое оснащение сельского хозяйства региона // Деловое обозрение. Итоги Всерос. с.-х. переписи 2016 г., янв. 2019 г. – С. 8–9.

3. Кузнецов В. В., Сайфутдинов Р. А. Экономический анализ: учебное пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2018. – 130 с.

4. Кузнецов В. В., Сайфутдинов Р. А. Большухина И. С. Сто лет развития России // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2018. – №4 (84). – С. 50–56.

5. Кузнецов В. В. Региональная экономика и управление: учебное пособие (курс лекций). – Ульяновск: УлГТУ, 2017.

6. Кузнецов В. В., Сайфутдинов Р. А. Государственное и муниципальное управление: учебное пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 154 с.

7. Маркова А. Н. и др. Экономическая история России / Под ред. Ю.К. Федуловой. – Москва : ЮНИТИ, 2009. – С. 320.

8. Сайфутдинов Р. А., Халитова В. И. Цифровая экономика в современной России // Образование и информационная культура: теория и практика : Сборник научных трудов. – Ульяновск, 2017.

REFERENCES

1. *Ukaz Prezidenta «O nacional'nyh celyah i strategicheskikh zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda»*. Moscow, *Krem'l' 7 maya* 2018 [Presidential decree «On national goals and strategic objectives of the Russian Federation for the period up to 2024». Moscow, the Kremlin on 7 may 2018].

2. Kalinina M. *Tekhnicheskoe osnashchenie sel'skogo hozyajstva regiona* [Technical equipment of agriculture in the region] // *Delovoe obozrenie. Itogi Vseros. s.-h. perepisi 2016 g., yanv. 2019 g.* [Business review. Results of the 2016 census, Jan. 2019] pp. 8–9.

3. Kuznecov V. V., Sajfutdinov R. A. *Ekonomicheskij analiz: uchebnoe posobie* [Economic analysis: a training manual]. Ul'yanovsk : UIGTU, 2018, 130 p.

4. Kuznecov V. V., Sajfutdinov R. A., Bol'shuhina I. S. *Sto let razvitiya Rossii* [One hundred years of Russia's development] // *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, №4 (84), pp. 50–56.

5. Kuznecov V. V. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: uchebnoe posobie (kurs lekcij)* [Regional Economics and management: textbook (lectures)]. Ul'yanovsk: UIGTU, 2017.

6. Kuznecov V. V., Sajfutdinov R. A. *Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie: uchebnoe posobie* [State and municipal management: textbook]. Ul'yanovsk :UIGTU, 2012. 154 p.

7. Markova A. N. i dr. *Ekonomicheskaya istoriya Rossii / Pod red. YU.K. Fedulovoj* [Economic history of Russia / Under the editorship of Yu. K. Fedulovoy]. Moskow : YUNITI. 2009. P. 320.

8. Sajfutdinov R. A., Halitova V. I. *Cifrovaya ekonomika v sovremennoj Rossii // Obrazovanie i informacionnaya kul'tura: teoriya i praktika : Sbornik nauchnyh trudov* [Digital economy in modern Russia // education and information culture: theory and practice : Collection of scientific works]. Ul'yanovsk, 2017.

•••••

Кузнецов Виталий Васильевич, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» УлГТУ, доктор экономических наук.

Сайфутдинов Рафаэль Амирович, доцент кафедры «Информатика» УлГТУ, кандидат культурологии.

Большухина Ирина Сергеевна, доцент кафедры «Экономика и менеджмент» УлГТУ, кандидат экономических наук.

Поступила 23.04.2019 г.

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

Рассматриваются типы инноваций для противопоставления новым условиям и ситуациям, т. к. предприятия вынуждены постоянно искать новые способы производства, а именно, предлагать новые продукты или улучшать существующие. Авторы считают, что инновация – это процесс преобразования новых идей, новых знаний в новые продукты и услуги и определяют инновации как деятельность, ведущую к новой производственной функции, новому продукту.

Ключевые слова: инновации, способы производства, конкуренция, экономический рост.

Предприятия сегодня осуществляют свою деятельность под большим давлением со стороны других предприятий, предлагающих такую же или аналогичную продукцию или услугу, или же они находятся под давлением клиентов, ожидающих всё больше и больше от потребляемого продукта. Для противопоставления новым условиям и ситуациям предприятия вынуждены постоянно искать новые способы производства, предлагать новые продукты или улучшать существующие, т. е. они должны постоянно внедрять инновации. Но что на самом деле представляют инновации?

Инновация – процесс преобразования новых идей, новых знаний в новые продукты и услуги.

Это деятельность, ведущая к новой производственной функции, новому продукту. Данная деятельность разделяется на несколько этапов:

- представление нового продукта: предприниматель должен производить новый продукт, который можно легко продать и который отсутствует на рынке;

- внедрение нового метода производства: инновации должны предлагать новую схему производства, которая благодаря существующим затратам может привести к увеличению выпуска, снижению затрат на 2 единицы продукции, внедрению новых ресурсов и изменению существующих;

- открытие новых рынков: инновации могут увеличить продажи в новых регионах, а также увеличить количество покупателей;

- поиск подходящих источников сырья: поставщик сырья может часто снижать качество сырья или повышать его цену, что напрямую влияет на качество и цену продажи нового продукта. Таким образом, предприниматель должен найти соответствующий источник ресур-

сов, которые необходимы для производства новых продуктов;

- создание новой организации в отрасли: описывает этот шаг как выход предпринимателя на монопольный рынок, где ранее не было конкуренции; или создание условий, с помощью которых предприниматель мог бы занять монопольное положение на рынке.

Определяется инновация как процесс, с помощью которого новая идея доводится до стадии, на которой она в конечном итоге начинает приносить прибыль. Это динамичный социально-экономический процесс, включающий взаимодействие людей с разными точками зрения и разными мотивациями.

Инновации представляют собой процесс, т. е. деятельность по созданию нового продукта или услуги, нового технологического процесса, новой организации или усовершенствованию существующего продукта или услуги, существующего технологического процесса и существующей организации.

Согласно данному определению, если проанализировать его отдельные элементы, то можно сказать, что существует следующая классификация: инновации в производстве – разработка или усовершенствование конкретного продукта; инновации в сфере услуг – предложение новых или расширение существующих услуг; инновации в процессе – поиск новых способов организации и объединения ресурсов в процессе производства конкретных продуктов или услуг; и инновации в управлении – создание новых способов организации бизнес-ресурсов.

Важность и определение инноваций можно объяснить с нескольких сторон: для клиентов инновации означают продукты с лучшим качеством и лучшим обслуживанием, а вместе означают лучший образ жизни; для бизнеса инновации означают устойчивый рост и развитие, получение большой прибыли; для сотрудников

инновация означает новую работу, требующую большей отдачи, что приводит к более высокой зарплате; с точки зрения экономики в целом, инновации представляют большую производительность и благополучие для всех.

В быту термины инновации, изобретения, творчество и наука часто взаимозаменяемы, но для учёных, исследователей и политиков существуют различия между этими терминами, и эти различия придают каждому термину уникальное, специфическое значение. Изобретение является первым появлением идеи для нового продукта или процесса, в то время как инновация является первой попыткой претворить его в жизнь. Творчество думает о новых вещах, а инновации создают новые вещи. Креативность – это способность развивать новые идеи и способы решения проблем и возможностей, тогда как инновации – это способность создавать креативные решения для улучшения жизни людей. Следовательно, предприятия могут быть успешными, только если они изобретают и делают новые вещи, или если они делают старые по-новому (табл.).

Таблица

Инновации, креативность, изобретение и наука

ИННОВАЦИЯ против ИЗОБРЕТЕНИЯ
Изобретение – создание новой концепции. Инновация сводит эту концепцию к практике и делает её коммерческим успехом.
ИННОВАЦИЯ против ТВОРЧЕСТВА
Творчество приходит с идеями. Инновации приносят идеи в жизнь.
ИННОВАЦИЯ против НАУКИ
Наука – это превращение денег в знания. Инновация – это преобразование знаний в деньги.

В соответствии с этим различие между этими терминами заключается в следующем:

- креативность – возможность создать новый внешний вид, содержание или процесс путём объединения существующих ресурсов или факторов производства;
- изобретательность – процесс создания чего-то нового, который назначает вклад в уровень общих знаний человечества;
- инновация связана с окончательным маркетингом нового продукта, услуги или технологического процесса, который является результатом изобретательности.

Важность и определение инноваций можно объяснить с нескольких сторон. Со стороны клиентов инновации означают продукты с лучшим качеством и лучшим обслуживанием, а все вместе означают лучший образ жизни. Со стороны бизнеса инновации означают устойчивый рост и

развитие, получение большой прибыли. Со стороны сотрудников инновация означает новую и более интересную работу, требующую больших усилий, но приводящих к более высоким доходам. С точки зрения экономики в целом, инновации представляют повышение производительности и процветание общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аль-Дарабсе А. М. Ф., Маркова Е. В. Реализация концепции программы автоматизации управленческого учёта // Актуальные проблемы финансов глазами молодёжи. Материалы III Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Ульяновск, 2017. – С. 31–33.

2. Аль-Дарабсе А. М. Ф., Маркова Е. В. Автоматизированный метод обучения студентов инженерных специальностей // Технологическое развитие современной науки: тенденции, проблемы и перспективы: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2018. – С. 4–6.

3. Маркова Е. В., Морозов В. В., Аль-Дарабсе А. М. Ф. Методика оценки уровня конкурентоспособности продукции инновационного предпринимательства // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2013. – №1(24). – С. 47–54.

4. Морозов В. В., Аль-Дарабсе А. М. Ф. Системный анализ и моделирование процессов управления организационно-техническими системами // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2009. – №2(24). – С. 234–237.

5. Морозова Е. В., Аль-Дарабсе А. М. Ф. Моделирование деятельности инновационного образовательного комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2011. – Т. 13, №2-2. – С. 306–310.

6. Маркова Е. В., Аль-Дарабсе А. М. Ф. Модернизация «Аэрокосмического образования» в высших учебных заведениях // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера: сборник материалов. – Ульяновск, 2017. – С. 20–22.

REFERENCES

1. Al-Darabse A. M. F., Markova E. V. *Realizatsia konseptsii program avtomatizatsii upravlencheskogo ucheta* [Implementation of the concept of management accounting automation program]. *V sbornike: Aktualnye problem finansov glazami molodezhi. Materialy III Vserossiiskoi*

studentcheskoi nauchno-practicheskoi konferencii. 2017. pp. 31–33.

2. Al-Darabse A. M. F., Markova E. V. *Avtomatizirovany metod obucheniya studentov inzhenernykh specialnotstei* [Automated method of teaching engineering students]. *V sbornike: Technologicheskoe razvitie sovremennoi nauki: tendentsii, problem i perspektivy. Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-practicheskoi konferentsii.* Ufa, 2018. pp. 4–6.

3. Markova E. V., Morozov V. V., Al-Darabse A. M. F. *Metodika otsenki urovnya konkurentosposobnosti produktsii innovatsionogo predprinimatelstva* [Methods of assessing the level of competitiveness of products of innovative entrepreneurship] *Vestnik Samarskogo munitsipalnogo institute upravleniya*, 2013, №1 (24), pp. 47–54

4. Morozov V. V., Al-Darabse A. M. F. *Sistemnyi analiz i modelirovaniye procetsov upravleniya organizatsiono-technicheskimi sistemami* [System analysis and modeling of management processes of organizational and technical systems] *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta. Seria: Technicheskoe nauki.* 2009, №2(24), pp. 234–237.

5. Morozova E. V., Al-Darabse A. M. F. *Modelirovaniye deyatelnosti innovatsionogo obrazovatel'nogo kompleksa* [Modeling the activities of an innovative educational complex]. *Izvestia*

Samarskogo nauchnogot sentra Rossiiskoi akademii nauk. Sotsialnye, gumanitarnye, mediko-biologicheskoe nauki, 2011, T. 13, No. 2-2. pp. 306-310.

6. Markova E. V., Al-Darabse A. M. F. *Modernizatsia aerokosmicheskogo obrazovaniya v vyesshich uchebnykh zavedeniyakh* [Modernization of «Aerospace Education» in higher education]. *V sbornike: Problemy i perspektivy ekonomicheskikh otnosheniy predpriyatiy aviatsionogo klastera.* 2017, pp. 20–22.

.....

Маркова Елена Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, управление и информатика», Институт авиационных технологий и управления, Ульяновский государственный технический университет.

Аль-Дарабсе Амер Мохаммад Фархан, студент 4-го курса, специальность «Самолёт-и вертолётостроение», Институт авиационных технологий и управления, Ульяновский государственный технический университет.

Поступила 27.02.2019 г.

УДК 314.18

Е. О. ДЕНИСОВА, М. И. КРИВЕНКО, Р. М. КОЧЕТКОВА

ВЛИЯНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА НАСЕЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

Формирование трудового потенциала предполагает определение современных тенденций развития демографической ситуации в стране. Показатели демографии характеризуют возможности улучшения качества населения региона через изменение количества реального и потенциального трудоспособного населения. В статье проведён анализ рождаемости и смертности с точки зрения их влияния на формирование трудовых ресурсов.

Ключевые слова: демография, демографический компонент, трудовой потенциал, воспроизводство населения, рождаемость.

Процесс воспроизводства населения определяет качество и количество воспроизводства трудовых ресурсов – экономически активного населения.

Состояние воспроизводства населения в стране зависит от ряда факторов, таких как состояние демографической ситуации, качество системы здравоохранения, формирование и миграция трудовых ресурсов.

На формирование трудовых ресурсов также влияет ряд факторов:

© Денисова Е. О., Кривенко М. И.,
Кочеткова Р. М., 2019

- демографические факторы;
- уровень реальных доходов населения;
- уровень жизни и потребления населения;
- уровень жилищных условий и образования населения.

Определяющую роль в формировании трудовых ресурсов играют демографические факторы, которые характеризуются половозрастной структурой населения, численностью трудовых ресурсов, темпами пополнения трудовых ресурсов, уровнем миграции и показателями коэффициента смертности населения.

От показателей естественного движения населения: прироста населения, рождаемости, смертности, продолжительности жизни зависит половозрастная структура трудовых ресурсов.

Состояние структуры и численности трудовых ресурсов страны определяют показатели продолжительности жизни, рождаемости и смертности, что и характеризует половозрастной состав населения страны.

Воспроизводство населения оценивают по возрастному распределению демографических поколений. По результатам сравнения численности различных возрастных групп населения определяют демографическую и трудовую нагрузку в стране.

Демографические факторы относят к главным количественным характеристикам трудового потенциала, они определяют формирование, развитие и использование трудовых ресурсов, в том числе, численность экономически активного населения.

В стране уделяется большое внимание распределению населения по возрасту, в зависимости от возможности его участия в трудовой деятельности. Выделяют три возрастных группы: население в возрасте моложе трудоспособного, население трудоспособного возраста (за исключением неработающих инвалидов I и II групп и неработающих лиц, получающих пенсию по возрасту на льготных условиях) и население старше трудоспособного возраста, занятых в экономике [3, с.13].

Большие опасения вызывает рост удельного веса лиц старше трудоспособного возраста, занятых в экономике.

Увеличению показателей демографической нагрузки на трудоспособное население до уровня 664 нетрудоспособных человек на 1000 человек трудоспособного возраста способствовали изменения в возрастном составе трудовых ресурсов [1]. Эти изменения отрицательно сказываются на социально-экономическом развитии страны: увеличение расходов на пенсионное обеспечение, изменение структуры занятости,

снижение интенсивности ведения народного хозяйства [5, с.18].

В сложившейся ситуации сокращения масштабов трудового потенциала страны приоритетной становится острая необходимость поиска и выявления резервов увеличения ресурсов труда. Важнейшими факторами изменения количественных параметров численности населения в трудоспособном возрасте являются рождаемость, смертность, естественный прирост населения и миграция [4, с.417].

Рождаемость в России является одним из факторов, который определяет численность поколений. Вступление в трудоспособный возраст характеризуется позитивными тенденциями. Ежегодно рост числа родившегося населения составляет 12,8 тыс. чел. В соответствии с данными цифрами общий коэффициент рождаемости достиг 29,5%. Влияние рождаемости на формирование трудоспособного населения проявляется через временной разрыв, составляющий 16 лет. Это означает, что в 2010 по 2014 гг. в трудоспособный возраст вступили малочисленные поколения, родившиеся в период с 1994 по 1998 гг. Также величина трудового потенциала зависит от численности населения, выходящего за пределы трудоспособного возраста. В рассмотренном периоде это многочисленные поколения мужчин с 1950 по 1954 гг. и женщин с 1955 по 1959 гг. [1].

Основная тенденция рождаемости в стране с 1994 по 1998 годам выражается в устойчивом уменьшении числа рождений: в среднем на 72 тыс. человек в год. Трудовой потенциал страны увеличили малочисленные поколения людей, приблизительно 489,8 тыс. человек. Численность населения, выходящего за пределы трудоспособного возраста, составила 3668,5 тыс. человек, что на 32,7% меньше по сравнению с входящими когортами населения. В результате с 2010 по 2014 гг. численность трудоспособного населения упала [1].

Демографическая ситуация в стране обусловлена тем, что каждое последующее поколение не восполняет предыдущее, что ведёт к устойчивой депопуляции. Естественный прирост населения сменяется его убылью:

- рост смертности (особенно мужчин в трудоспособном возрасте);
- уменьшение средней продолжительности жизни;
- снижение уровня рождаемости.

Рассматривая рождаемость как резерв увеличения численности трудового потенциала, необходимо отметить, что в 2016 по 2020 гг. установившийся уровень рождаемости определил закономерности снижения трудового потенциала России. В трудоспособный возраст будут вступать малочисленные когорты населения с 2000 по 2004 годов рождения, по предварительным

расчётам 4551,6 тыс. человек. За пределы трудоспособного возраста будет выходить поколение послевоенных годов рождения (мужчины с 1956 по 1960, женщины с 1961 по 1965 гг.), которое составит 7139,2 тыс. человек [1].

В 2010 по 2014 годах формирование трудового потенциала происходило в неблагоприятных условиях. В эти годы в трудоспособный возраст вступали малочисленные поколения людей 1994 по 1998 годов рождения, а выходили многочисленные когорты мужчин 1950 по 1954 и женщин 1955 по 1959 годов рождения. При этом сложившийся уровень смертности населения в трудоспособном возрасте определил сокращение трудового потенциала на 141 тыс. человек, особенно большие потери несли мужчины, смертность которых составила 81,5% [1].

Как показывает Росстат, в прогнозе до 2031 года коэффициент демографической нагрузки будет расти. С каждым годом будет становиться меньше лиц трудоспособного возраста. На этот процесс могут повлиять такие факторы, как рождаемость, смертность, качество здравоохранения и др. [3].

В показателе численности населения, рассчитанном до 2031 года, также наблюдается отрицательная динамика [3]. Ежегодно уменьшается численность людей трудоспособного возраста. Прогнозы, связанные с показателями рожившихся, умерших и естественным приростом населения, так же говорят о том, что с каждым годом рожившихся будет меньше, чем умерших, и показатели естественного прироста будут уменьшаться.

Уменьшение численности населения трудоспособного возраста при неизменных показателях трудовой активности приведёт к снижению численности экономического активного населения страны.

Низкая рождаемость и высокая смертность в трудоспособном возрасте негативно влияют на формирование трудовых ресурсов, что приводит к сокращению трудового потенциала. Если ситуация в стране не изменится, наступит кризис, связанный с дефицитом рабочей силы.

Необходимо принимать меры по предотвращению такой ситуации. Для устойчивости воспроизводства населения необходимо повышение уровня рождаемости и стабилизация численности населения в стране.

В условиях сокращённого воспроизводства населения актуальным становится вопрос выявления резервов увеличения трудового потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт государственной статистики. – <http://www.gks.ru>. (дата обращения: 10.04.2019).

2. Азрелиян А. Н. Большой экономический словарь. – 8-е изд. – Москва : Институт новой экономики, 2014. – С. 790.

3. Крылова А. В., Зевакина Ю. В. Роль трудовых ресурсов в эффективности деятельности предприятия. [Электронный ресурс] // Экономическая среда. — 2014. — № 4. — С. 15–18.

4. Фаизова Л. Р., Леушина Т. В. Моделирование влияния воспроизводства населения на его экономическую активность // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2014. — №14. — С. 415–419.

5. Щуков В. Н. Экономический потенциал регионов России и эффективность его использования: учебное пособие. – Иваново: ИГТА, 2015. – С. 13.

REFERENCES

1. *Oficial'nyj sajt gosudarstvennoj statistiki* [Official website of the state statistics]. – <http://www.gks.ru>. (accessed: 10.04.2019).

2. Azreliyan A. N. *Bol'shoj ekonomicheskij slovar'* [Great economic dictionary]. 8-e izd. Moscow : *Institut novej ekonomiki*, 2014. P. 790.

3. Krylova A. V., Zevakina YU. V. *Rol' trudovyh resursov v effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiya*. [The role of human resources in the efficiency of the enterprise] [*Elektronnyj resurs*] // *Ekonomicheskaya sreda*. 2014, № 4, pp. 15–18.

4. Faizova L. R., Leushina T. V. *Modelirovaniya vliyaniya vosproizvodstva naseleniya na ego ekonomicheskuyu aktivnost'* [Modeling of population reproduction influence on its economic activity] // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg state University], 2014. – №14, pp. 415–419.

5. SHCHukov V. N. *Ekonomicheskij potencial regionov Rossii i effektivnost' ego ispol'zovaniya: uchebnoe posobie* [Economic potential of Russian regions and efficiency of its use: textbook]. Ivanovo: IGTA, 2015. P. 13.

•••••

Денисова Евгения Олеговна, преподаватель кафедры «Управление персоналом» УлГТУ.

Кривенко Мария Игоревна, ассистент кафедры «Управление персоналом» УлГТУ.

Кочеткова Рузалия Маратовна, доцент кафедры «Управление персоналом» УлГТУ, кандидат экономических наук, доцент, автор более 80 публикаций.

Поступила 12.05.2019 г.

ХРОНИКА УНИВЕРСИТЕТА. КОНФЕРЕНЦИИ ЮБИЛЕИ

УлГТУ успешно прошёл государственную аккредитацию.

Соответствующий приказ №641 от 15.05.2019 г. подписал Руководитель Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) С. С. Кравцов. Рособрнадзор в процессе аккредитации подтвердил, что образовательные услуги, предоставляемые УлГТУ, отвечают всем государственным требованиям. Свидетельство государственной аккредитации действительно в течение 6 лет.

* * *

20 мая 2019 г. в Совете Федерации прошла научно-практическая конференция «Интеллектуальная собственность глазами молодёжи». Первый заместитель Министра образования и науки РФ Трубников Г. В. отметил активное развитие УлГТУ в этом направлении. В конференции приняла участие первый проректор – проректор по научной работе УлГТУ Н. Г. Ярушкина. Она отметила в своём выступлении, что важной задачей университета является вовлечение в изобретательскую деятельность студентов и аспирантов технических специальностей, чему способствует введение в УлГТУ курса «Основы изобретательской деятельности», который помогает получить необходимые знания. 2019 год в Ульяновской области объявлен годом Изобретательства и инноваций.

* * *

20 мая 2019 г. на базе кафедры «Химия, технологии композиционных материалов и промышленная экология» проведена I Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей «Актуальные проблемы техносферной безопасности», работа

проводилась по семи секциям. По результатам конференции сформирован сборник научных трудов в виде электронного ресурса.

* * *

20–21 мая 2019 г. на базе ИДДО прошла VI Международная научно-практическая конференция «Электронное обучение в непрерывном образовании» (ЭОНО–2019), посвящённая памяти директора ИДДО Афанасьева Александра Николаевича, который был главным инициатором и организатором Международной научно-практической конференции. В конференции приняли участие 25 российских и зарубежных регионов. Целью конференции являлась организация эффективной площадки для обмена опытом между учёными и специалистами для обсуждения вопросов организации научных исследований и внедрения инновационных разработок в области образования. Организовано обсуждение и проведён анализ современной теории, практики, передового опыта применения ИКТ в непрерывном образовании и фундаментальных исследованиях.

* * *

3 июня 2019 г. на встрече губернатора С. И. Морозова с первым проректором – проректором по научной работе УлГТУ Н. Г. Ярушкиной обсуждались механизмы взаимодействия Ульяновской области и УлГТУ, меры поддержки вуза как технологического лидера промышленных кластеров региона, широкое участие экспертного сообщества учёных и преподавателей вуза в формировании программ развития промышленных кластеров.

ABSTRACTS

Aristova E. V., Tarasova N. N. Master's programs abroad

Keywords : education, master's programs, foreign language, scholarships.

Master's programs abroad in particular in Europe, admission policies, necessary application materials are considered, scholarship programs for free master's degree abroad for Russian students are noted.

Strenyavskaya P. V. Modern methods of learning employees in enterprises

Keywords: education, andragogy, employee training, enterprise learning management, hybrid learning.

The article is devoted to different methods of learning employees in enterprises. The traditional and modern educational forms of staff training are considered.

Vybornov D.S. Organization of training of employees of a construction company for the application in the work of modern software products

Keywords: staff training, professional development, training, staff development, training system.

The problem of retraining and improving their skills is highlighted due to the constant obsolescence of the total amount of knowledge and the depreciation of previous special knowledge, which is caused by the adoption of new regulations and improved technologies.

Sayfutdinova R. R. Modern anthologies: review of publishers' errors

Keywords: anthology, modern anthology, publishers' errors, abstract, foreword, content.

The article focuses on anthology as a sort of collections of Russian poetry. We are analyzing those books that were edited at the beginning of XXI century and, in our opinion, contain publishers' errors.

Isaeva E. A. The influence of parents on the upbringing of children.

Keywords: education, children, parents, values, attention, conflict.

The article aims to consider the influence of parents on the education of children on the example of the movie «Stuffed» on the novel by V. Zheleznyakov. The analysis determined that the influence of parents, lifestyle and values affect the upbringing of their children and form their social environment in which children live.

Ravin A. S. Influence of character of the person on the organization of the workplace

Keywords: interrelation, character, personality, workplace.

Article is devoted to a research of influence of character of the person on the organization of a workplace. Foreign experiment of psychologists on this subject is considered and researches on the basis of the construction organization are conducted.

Zemskov A. A. , Kashkirov S. A., Manzhosov V. K. Model of motion of two solid bodies in collision with the barrier and unilateral communications

Keywords: motion model, collision, one-way links, impact, recovery factor, multiple impacts, relative movement

The model of the collision of two solids with a rigid barrier is constructed. The mechanical system has several degrees of freedom and unilateral communications. The impact is considered instant. After the impact, and the recovery speed there is a process of multiple impacts one of the bodies. For any impact the impact speed are determined, case rebound size from a barrier, time between two consecutive impacts are determined. Time of the transition process connected with repeated impacts is defined. The model of motion of the second body at break of connection with the first body is constructed. The conditions are determined under which there is no collision of solids with each other.

Manzhosov V. K., Samsonov A. A. Model of motion of a clamped rod with a the disk under torsion and the communication break

Keywords: the rod, the wave equation, the method of traveling waves, wave deformation, the speed of the cross-sectional of a rod, deformation in the cross sections of a rod

The wave model of the mechanical system motion in the form of a disk and a homogeneous rod fixed in a rigid base is considered. Before the movement starts, the reaction of the external communication spins the disc and a rod. When the external communication is break, the movement of the cross sections of a rod begins. For the solution of the wave equation uses the method of traveling waves. Angular velocity, angular acceleration and relative angle of twist of cross-section are defined using the functions of forward and backward waves.

Gladun A.V., Velmisov P.A. On constructing control of pipeline vibration

Keywords: elastic pipeline, dynamics, controllability, stabilization, partial differential equations, Galerkin method.

The problem of constructing a stabilizing control in the case of dynamic instability of a pipeline is considered. The initial equation, describing the dynamics of pipeline, is reduced to a system of linear equations with the help of the Galerkin method. The control law, that provides asymptotic stability of zero solution for the obtained system, is constructed. The results of numerical simulation of the behavior of the pipeline deflection function under the action of the constructed control with given parameters are presented.

Dementev V. E. Using a modified method of maximizing expectations to identify the parameters of the double stochastic model

Keywords: double stochastic model, parameter identification, multiple roots, random sequences, random fields, correlation function

The paper discusses a method for identifying a double-stochastic model, based on a combination of pseudogradient procedures and the Bayesian approach in the framework of the method of maximizing expectations. The theoretical consistency of the approach is shown and important partial relations are obtained, which allow identification of parameters for simple cases of a double-stochastic autoregressive model.

Milashkina O.V., Tsvetkov M. Design and modernization of aerodrome electrical lighting equipment

Keywords: high intensity lights (HVI), aircraft (LA), runway, lighting signal equipment (CCO), LED lights of lamps.

Electric lighting (ECT) systems of a modern aerodrome are intended for [1-3] ensuring that the aircraft crew (SA) safely land at the destination airport at a height below 50 meters and maneuver in the airfield. ECT systems will be divided into light-signaling equipment (MTR) located on the airfield, and electrical equipment providing power to the MTR. The MTR should provide: a light designation of the runway, its sections and approaches; designation of taxiways (taxiways) and their location; traffic control on the airfield.

Shivirinsky V. N. Alarm device of M number

Keywords: air flow, alarm device, flow-through receiver, M number, narrow section, speed of sound.

A alarm device is considered with a flow-through receiver of static pressure the parameters of which are selected according to the condition for achieving the speed of sound in a narrow section.

Menshov E. N. Role of calibration of Lorentz in electrodynamics

Keywords: Lorentz transformations, Lorentz calibration, current continuity equation, transfer current density, wave equation, D'Alembert operator, nabla operator

A method has been developed for transforming the wave equations of the electromagnetic field, leading to the derivation of the Lorentz transformation, which directly uses the Lorentz calibration. It is established that the Lorentz calibration determines the Lorentz transformations of wave equations.

Aleksandrov D. S., Kalashnikov A. S. Structural method of calculation of currents of short circuit in chains of rectifiers

Keywords: the rectifier, the rectifier party, the rectifier scheme, the gate, a short circuit current, the transient, the generalised vector, system of coordinates.

The simple technique of reception of analytical dependences of a current of short circuit from time in an electric chain of the party of a direct current with the account of resistance of the party of an alternating current of the rectifier of installation with any number of phases on the party of an alternating current and any schemes of straightening is offered. As a research starting point the analysis of transients on the alternating current party serves. As the basic idea of the decision of a task in view use of concept of the generalised vector of a multiphase network is offered. The equivalent equivalent circuit of the party of the alternating current, led to the party of a direct current of the rectifier, is formed on the basis of property of simultaneously working gates of cathodic group and gates of anode group. In other words, the equivalent equivalent circuit of the party of a direct current is formed on the basis of structural, instead of the time approach to the analysis of transients. The technology of application of a method is shown on an example of short circuit of conclusions of a direct current of the three-phase bridge scheme of straightening.

Kyznecov V. V., Saifytdinov R. A., Bolsukhina I. S. Economic development management in modern conditions

Keywords: mechanisms for managing the economy, labor market, labor partnership, commodity-producing sectors of the digital economy, research and educational centers.

The problems of economic development are considered, ways of their solution are analyzed, modern mechanisms of market economy management are presented at the present stage, integration of scientific organizations in the real sector of economy.

Markova E. V., Al Darabseh A. M. F. The innovations' influence on economic growth

Keywords: innovations, production methods, competition, economic growth.

In the article, the authors consider the types of innovations to oppose new conditions and situations, because enterprises have to constantly look for new ways of production, namely, to offer new products or to improve existing ones. The authors believe that innovation is the process of transforming new ideas, new knowledge into new products and services, and define innovation as an activity leading to a new production function, a new product.

Denisova E. O., Krivenko M. I., Kochetkova R. M. The impact population reproduction the formation human resources

Keywords: demography, the demographic component labor potential, population reproduction, birth rate.

The formation of labor potential involves the definition of modern trends in the demographic situation in the country. Demographic indicators characterize the possibility of improving the quality of the population of the region through changes in the number of real and potential able-bodied population. In the article the analysis of fertility and mortality from the point of view of their influence on the formation of human resources.

Правила оформления статей для журнала «Вестник УлГТУ»

1. К публикации принимаются материалы, касающиеся результатов оригинальных научно-технических исследований и разработок. Тематика должна соответствовать рубрике журнала.

2. Статья должна содержать:

- индекс УДК;
- заглавие на русском и английском языках;
- инициалы и фамилию автора на русском и английском языках (14 пт, светл.);
- аннотацию на русском и английском языках;
- ключевые слова статьи на русском и английском языках;
- текст;
- список литературы (не более 10 источников) **на русском и английском языках**;
- сведения об авторе;
- акт экспертизы.

3. Объём статьи – до 3,5 страниц, включая иллюстрации, страницы не нумеровать.

Заглавие должно точно и кратко формулировать тему статьи (14 пт, п/ж).

Статья представляется в виде файла формата MS WORD и в распечатке, с подписью авторов (*прилагается*).

Файл должен быть записан на USB Flash Drive.

При наборе используются только стандартные шрифты – Times New Roman и Symbol, 11–10 пунктов для основного текста и для формул. При наборе текста переносы не ставить.

Устанавливаемый размер бумаги – А4 210×297 мм.

4. Следует строго соблюдать единообразие терминов, размерностей, условных обозначений. Единицы измерения должны соответствовать СИ (ГОСТ 8.417–2002).

5. Формулы следует нумеровать в круглых скобках (2), литературные ссылки – в прямых [12], подстрочные примечания отмечаются звездочкой *.

Промежуточные математические выкладки по возможности следует опускать, формулы следует набирать с помощью редактора формул.

6. Таблицы должны иметь тематические заголовки, располагаться в пределах рабочего поля. Все слова в заголовках граф даются без сокращений и в единственном числе.

7. Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008 и даётся общим списком по алфавиту в конце статьи.

8. Иллюстрации выполняются в соответствии со следующими требованиями: чётко, на белой бумаге, буквенные и цифровые обозначения на рисунках по начертанию должны соответствовать обозначениям в тексте статьи. Рисунки обязательно должны быть сгруппированы с подрисовочными подписями.

Размеры рисунков – 170×170 мм (помещаются непосредственно в тексте).

На весь иллюстративный материал должны быть ссылки в тексте.

Рубрика включает 2–3 статьи по 3–3,5 страницы.

Материал должен быть выверен и готов к размножению.

Ответственность авторов: «Авторы опубликованных статей несут ответственность за патентную чистоту, достоверность и точность приведённых фактов, цитат, географических названий, экономико-статистических данных, собственных имён и прочих сведений, а также за разглашение данных, не подлежащих открытой публикации».

Материалы для тематических рубрик следует сдавать ответственному за данную рубрику.

Ответственным за тематические рубрики обратить внимание на публикацию статей аспирантов, докторантов.

Сдавая статьи в журнал, вы даёте разрешение на помещение её в eLibrary и на сайт университета, передаёте неисключительные права организации (УлГТУ).

Соблюдая эти правила, вы ускорите публикацию вашего материала. Спасибо!