ISSN 2518-1653 (online)
vestnik.donntu.org

ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

# ВЕСТНИК

№3 (25) 2021 г.

## ДОНЕЦКОМУ НАЦИОНАЛЬНОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ



*100 лет!*

# НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета




## Международный научно-технический журнал «Вестник Донецкого национального технического университета»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000133, выдано 27.05.2017 г.
Приказ МОН ДНР № 1144 от 07.11.2017 г. о включении в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР
Лицензионный договор с РИНЦ № 425-07/2016 от 14.07.2016 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
05.02 Машиностроение и машиноведение;
05.05 Транспортное, горное и строительное машиностроение;
05.09 Электротехника;
05.16 Металлургия и материаловедение;
05.17 Химическая технология.

**Подробная информация - http://vestnik.donntu.org**



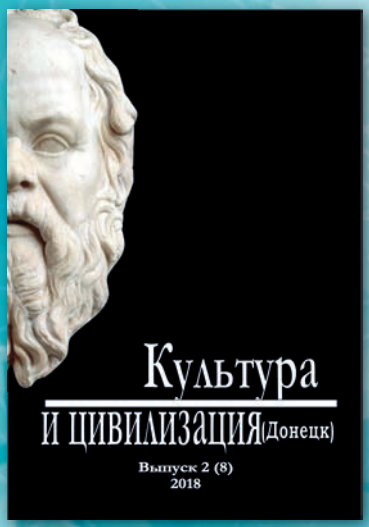

## Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000125 от 20 апреля 2017 г. (сетевое издание)
Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000147 от 20 июня 2017 г. (печатное издание)
Приказ МОН ДНР №744 от 24.07.2017 г. о включении в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР
Лицензионный договор с РИНЦ № 177-04/2013 от 12.04. 2013 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
05.02 Машиностроение и машиноведение.

**Подробная информация - http://ptsm.donntu.org**




## Научный журнал «Культура и цивилизация (Донецк)»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000143 от 20.06.2017 г.
Приказ МОН ДНР №1134 от 01.11.2016 г. о включении в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР
Лицензионный договор с РИНЦ № 425-07/2016 от 14.07.2016 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
09.00 Философские науки;
23.00 Политология.

**Подробная информация - http://cic.sgi.donntu.org**

# ВЕСТНИК ДОННТУ №3(25)'2021

**международный научно-технический журнал**

*Учредитель и издатель:* *ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

*Главный редактор*
Маренич К.Н. (д.т.н., проф.)*

*Зам. главного редактора*
Малеев В.Б. (д.т.н., проф.)*

*Редакционный совет:*
Артюх В.Г. (д.т.н., проф.)
Беломеря Н.И. (к.т.н., доц.)*
Бершадский И.А. (д.т.н., проф.)*
Бирюков А.Б. (д.т.н., проф.)*
Горбатко С.В. (к.т.н., доц.)*
Горбатюк С.М. (д.т.н., проф.)*
Дедовец И.Г. (к.т.н., доц.)*
Еронько С.П. (д.т.н., проф.)*
Захаров Н.И. (д.т.н., доц.)*
Ковалев А.П. (д.т.н., проф.)*
Кожевникова И.А. (д.т.н., доц.)
Кондрахин В.П. (д.т.н., проф.)*
Кононенко А.П. (д.т.н., проф.)*
Куренный Э.Г. (д.т.н., проф.)*
Сотников А.Л. (д.т.н., доц.)*
Ченцов Н.А. (д.т.н., доц.)*
Шабаев О.Е. (д.т.н., проф.)*
Шаповалов В.В. (д.х.н., проф.)*
Яковченко А.В. (д.т.н., проф.)*
** - штатные сотрудники учредителя*

Адрес: 28301, г. Донецк, ул. Артема, 58
Телефон +380 (62) 301-07-89
Эл. почта: vestnikdonntu@gmail.com
Интернет: vestnik.donntu.org

**Вестник ДонНТУ**
**2021. №3(25)**

ISSN 2518-1653 (online)

Издается с января 2016 г.
Периодичность издания: 4 раза в год

*Свидетельство*
*о государственной регистрации*
*Серия ААА № 000133 от 27.05.2017*

За содержание статей и их оригинальность несут ответственность авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов. За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

*Подписано к печати*
*по решению Ученого Совета*
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»*
Протокол №10 от 24.12.2021

Формат 60×84$^{1/8}$. Заказ 0921.
Изд-во «Донецкая политехника», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

**А.Е. Воробьев, А.Я. Аноприенко, А.Н. Корчевский**
Современный опыт нормативно-правового обеспечения обучения в российских вузах в условиях пандемии COVID-19 ..... 3

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**Н.А. Ченцов, А.А. Каракозов**
Национальная инфраструктура качества ..... 12

**Н.А. Ченцов, С.Л. Сулейманов**
Ресурсная имитационная модель детали оборудования ..... 20

### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

**К.А. Рябко**
Функциональная модель работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге ..... 26

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**И.Б. Гуляева, Е.С. Дубинка, М.К. Маренич, Л.А. Муфель, О.А. Демченко**
Проводимость изоляции электрической сети участка шахты как фактор риска электротравматизма. Проблемные вопросы и пути их решения ..... 34

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

**С.Л. Хилько, Р.А. Макарова, Р.Г. Семенова**
Твердофазное этоксилирование ароматических кислот ..... 48

### ИНФОРМАЦИЯ

Требования к статьям, направляемым в редакцию ..... 54

**Информация об издании**

– На страницах журнала публикуются научные статьи фундаментального и прикладного характера, информация о конференциях, семинарах и выставках; освещается деятельность ведущих научно-исследовательских и проектных институтов, промышленных предприятий и коммерческих организаций, технопарков.

– Журнал оказывает информационную поддержку в продвижении на рынок конкурентоспособной наукоемкой продукции, проектов, научно-технических разработок и высоких технологий в различных областях промышленности.

– Журнал распространяется бесплатно в эл. виде посредством сети Интернет; принимает участие в научных конференциях и выставках.

– Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Интернет: elibrary.ru

– Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК) ДНР. Интернет: vak.mondnr.ru

– Редакция журнала принимает к публикации и осуществляет рецензирование рукописей статей по химическим и техническим наукам и следующим группам специальностей: 05.02 – Машиностроение и машиноведение; 05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение; 05.09 – Электротехника; 05.16 – Металлургия и материаловедение; 05.17 – Химическая технология.

# VESTNIK DONNTU №3(25)'2021

**international scientific-technical journal**

*Founder and publisher* *Donetsk National Technical University (Donetsk)*

*Editor-in-chief*
Marenych K.N. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*

*Deputy Editor-in-chief*
Maleev V.B. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*

*Editorial council:*
Artyukh V.G. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)
Belomerya N.I. (Cand. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)*
Bershadsky I.A. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Biryukov A.B. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Gorbatko S.V. (Cand. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)*
Gorbatyuk S.M. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)
Dedovets I.G. (Cand. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)*
Eron'ko S.P. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Zaharov N.I. (Dr. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)*
Kovalev A.P. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Kozhevnikova I.A. (Dr. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)
Kondrahin V.P. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Kononenko A.P. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Kurennyiy E.G. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Sotnikov A.L. (Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Chentsov N.A. (Dr. Sci. /Eng./, Assoc. Prof.)*
Shabayev O.E. (Dr. Sci. /Eng./, Prof.)*
Shapovalov V.V. (Dr. Sci. /Chem./, Prof.)*
Yakovchenko A.V. (Dr. Sci. /Chem./, Prof.)*
** - staff members of the founder*

Address: 283001, Donetsk, 58, Artema St.
Phone +380 (62) 301-07-89
E-mail: vestnikdonntu@gmail.com
Internet: vestnik.donntu.org

**Vestnik DonNTU**
**2021. No.3(25)**

ISSN 2518-1653 (online)

Published since January, 2016
Publication frequency: 4 times a year

*Certificate of State Registration*
*Series AAA No. 000133*
*dated 27.05.2017*

The content and originality of the articles is the author's responsibility. The editorial opinion may not necessarily represent the views of the authors.
The content of advertising material is the advertiser's responsibility.

*Subscribed to print*
*on the recommendation*
*of the Academic Council*
*Donetsk National Technical University*
Protocol No.10 dated 24.12.2021

Format 60×84$^{1/8}$. Order 0921
Publishing house
"Donetsk Polytechnic", 2021

## CONTENTS

### SCIENTIFIC NOTES

**A.E. Vorobyov, A.Ya. Anoprienko, A.N. Korchevsky**
Modern experience of legal provision of education in Russian universities in conditions of pandemic COVID-19 ..... 3

### ENGINEERING AND SCIENCE ENGINEERING

**N.A. Chentsov, A.A. Karakozov**
National quality infrastructure ..... 12

**N.A. Chentsov, S.L. Suleimanov**
Resource simulation model of equipment part ..... 20

### TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION ENGINEERING

**K.A. Ryabko**
Functional model of operation of a mines suspended monorail locomotive on storage battery traction ..... 26

### ELECTRICAL ENGINEERING

**I.B. Guliaeva, Ye.S. Dubinka, M.K. Marenich, L.A. Mufel, O.A. Demchenko**
Conductivity of insulation of the electric network of the mines as a risk factor of electric injury. Problem issues and ways of their solution ..... 34

### CHEMICAL TECHNOLOGY

**S.L. Khil'ko, R.A. Makarova, R.G. Semyonova**
Solid-phase ethoxylation of aromatic acids ..... 48

### INFORMATION

Requirements for the papers submitted to the Editorial office ..... 54

**Publication Information**

– The journal publishes research papers of fundamental and applied nature, information on conferences, seminars and exhibitions. It covers the activities of the leading research and design institutes, industrial and commercial companies and technology parks.
– The journal provides information support for the marketing of competitive high-tech products, projects, scientific and technical developments and high technologies in various fields of industry.
– The journal is distributed free of charge in electronic format via the Internet. It provides informational support and participates in International scientific conferences and exhibitions.
– The journal is included into the Russian Index of Science Citation (RISC). Internet: elibrary.ru
– The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission (VAK) of the DPR. Internet: vak.mondnr.ru
– The editorial accepts for publication and reviews manuscripts on chemical and technical sciences, and the following groups of specialties: 05.02 – Engineering and engineering science; 05.05 – Transport, mining and construction engineering; 05.09 – Electrical engineering; 05.16 – Metallurgy and materials science; 05.17 – Chemical technology.

УДК 37.0/378

**А.Е. Воробьев /д.т.н./**
*ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (Москва)*
**А.Я. Аноприенко /к.т.н./**
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*
**А.Н. Корчевский /к.т.н./**
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

# СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ В РОССИЙСКИХ ВУЗАХ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19

*Представлен анализ современной базы нормативно-правового обеспечения обучения студентов российских вузов в условиях пандемии COVID-19. Отмечено, что первые ведомственные нормативно-правовые акты по организации и регулированию дистанционного образования были направлены на перспективу создания единой системы дистанционного обучения студентов и принятия соответствующих методик, а также получения вузами большей степени самостоятельности в этой области. Для всех российских университетов первые локальные нормативно-правовые акты были разработаны и приняты весной 2019-2020 учебного года, а для вузов Москвы, Санкт-Петербурга и некоторых российских регионов – осенью-зимой 2020-2021 учебного года или для формата смешанного (гибридного) обучения – для вузов большинства регионов России (осенью-зимой 2020-2021 учебного года). В этих и других локальных нормативных документах руководством вузов были детально регламентированы процесс и технологии обучения студентов на период объявленных локдаунов, а также в период дальнейшего развития пандемии: от условий посещения вузов до условий дистанционного обучения и удаленной работы ППС.*

***Ключевые слова:*** *Россия, высшие учебные заведения, студенты, эпидемия, локдаун, локальные нормативные акты, обеспечение дистанционного обучения и работы.*

Различные институты высшей школы, подготавливая кадры для национальных экономик, неизбежно учитывают при обучении студентов все достаточно выраженные изменения, происходящие в социуме и окружающей среде [6,8,9]. Одним из таких технологических изменений, происходящих в высшей школе, является дистанционное образование, регулируемое в РФ преимущественно государственными и ведомственными (министерств и ведомств) нормативно-правовыми актами, а также локальными актами образовательных организаций.

При этом первые попытки обеспечить и както урегулировать дистанционное образование в российской высшей школе были предприняты в 1995-1996 гг. Именно тогда были приняты следующие ведомственные нормативно-правовые акты, которые продолжают действовать и в настоящее время:

– Постановление Госкомвуза РФ №6 от 31 мая 1995 г. «О состоянии и перспективах создания единой системы дистанционного образования в России».

– Приказ Госкомвуза РФ №1062 от 17 июня 1996 г. «О создании центра информационно-аналитического обеспечения системы дистанционного образования».

Несколько позднее по времени был принят еще один довольно важный ведомственный нормативно-правовой акт, направленный на детальное урегулирование дистанционного образования:

– Инструктивное письмо Минобразования РФ №41 от 3 июля 1998 г. «О дистанционном обучении в среднем и высшем профессиональном образовании».

Однако, ключевым нормативно-правовым ведомственным актом, направленным на правовое регулирование дистанционного образования, являлся Приказ Минобразования РФ №4452 от 18 декабря 2002 г. «Об утверждении Методики применения дистанционных образовательных технологий (дистанционного обучения) в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования Российской Федерации».

При этом необходимо отметить, что официально термин «дистанционная работа» появился в Трудовом кодексе РФ только лишь в 2013 г. [1], в главе 49.1 с названием «Особенности регулирования труда дистанционных работников».


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

После него был опубликован Приказ Министерства образования и науки РФ № 816 от 23 августа 2017 г. «Об утверждении порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ», которым была обеспечена определённая самостоятельность образовательных организаций в выборе траектории предоставления образовательных услуг.

Если в целом вся предыдущая нормативно-правовая деятельность по регламентированию дистанционного образования во многом носила узколокальный характер, служа интересам лишь отдельных групп людей (прежде всего – инвалидов, пожилых, многодетных и т. д.), то в настоящее время она начала затрагивать большинство населения мира. Это было обусловлено тем, что в начале XXI века основным драйвером дальнейшего развития дистанционного обучения стала разразившаяся пандемия COVID-19 [6], определившая целый ряд принципиально новых требований к работе существующих университетов [4].

Так, с 30 марта 2020 г. более 166 стран мира закрыли свои образовательные организации, переведя около 1520 млн. обучающихся (почти 90 % от общего количества студентов) и 60 млн. преподавателей на дистанционный (удаленный) формат учебы и работы (рис. 1).

Такая же ситуация возникла и в России, где в соответствии с приказами высших государственных органов власти РФ, в марте 2020 г., с целью обеспечения мер против распространения коронавирусной инфекции COVID-19, все высшие учебные заведения в срочном порядке были вынуждены перейти на дистанционный формат работы и обучения студентов [12]: для всех российских университетов – это состоялось весной 2019-2020 учебного года, для вузов Москвы, Санкт-Петербурга и, некоторых регионов – осенью-зимой 2020-2021 учебного года или для формата смешанного (гибридного) обучения – для вузов большинства регионов России (осенью-зимой 2020-2021 учебного года).

В целях дальнейшего усовершенствования имеющихся правовых норм по дистанционной работе и должного урегулирования трудовых отношений в период временной дистанционной (удаленной) занятости, 25 ноября 2020 г. Государственная Дума РФ рассмотрела и приняла во втором чтении Федеральный закон «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации в части регулирования дистанционной и удаленной работы».

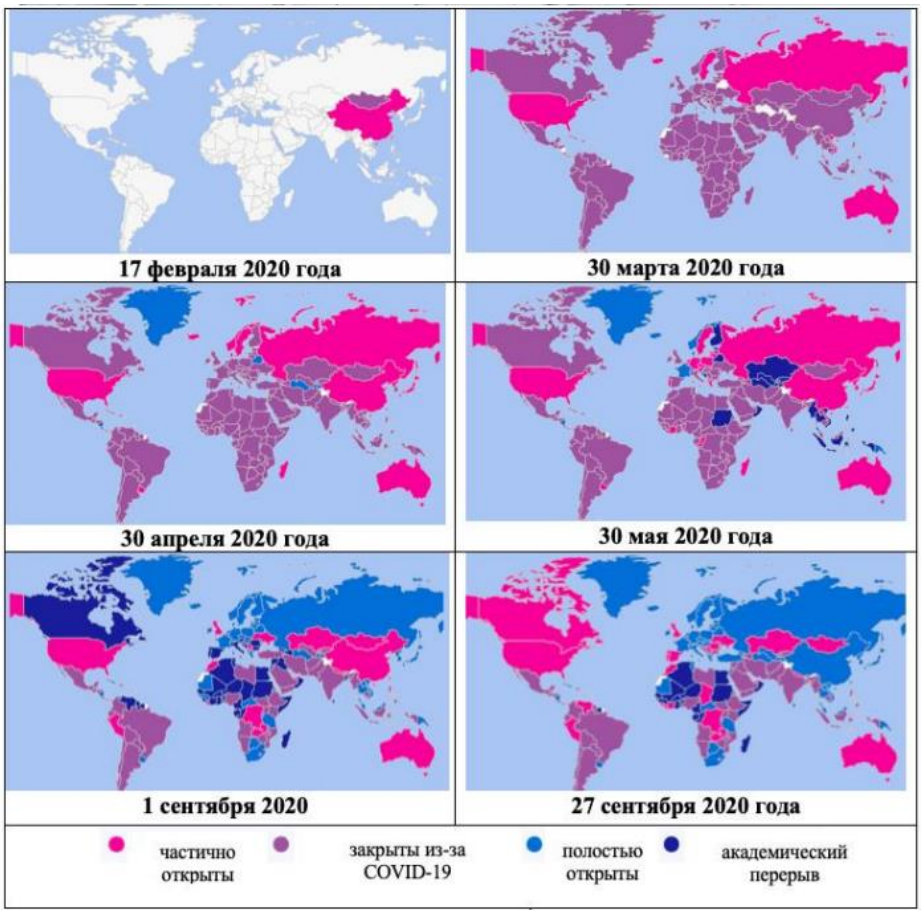



Рис. 1. Глобальный мониторинг работы учебных заведений в мире [15]


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Целью этих принятых изменений в действующее законодательство являлась выраженная необходимость повышения гибкости занятости трудящихся и эффективного применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в трудовых отношениях [1].

Необходимо отметить, что Министерство образования и науки РФ также весьма своевременно среагировало на возникшую в стране и мире, довольно сложную эпидемиологическую ситуацию, выпустив ряд ведомственных нормативно-правовых актов, а также оказав действенную методическую помощь российским вузам (прежде всего, в публикации необходимых руководств и инструкций по организации онлайн-обучения студентов и работы профессорско-преподавательского состава (ППС) вузов в условиях пандемии).

Кроме этого, также необходимо отметить, что процесс совершенствования нормативно-правового регулирования дистанционной работы ППС вузов и обучения студентов, ставших особенно актуальными в начальный период развития пандемии COVID-19, продолжается и в настоящее время, вместе с дальнейшим совершенствованием уже существующих форм и структур самого дистанционного образования.

Среди таких ведомственных нормативно-правовых документов целесообразно выделить:

– Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 397 от 14 марта 2020 г. «Об организации образовательной деятельности в организациях, реализующих образовательные программы высшего образования и соответствующие дополнительные профессиональные программы, в условиях предупреждения распространения новой коронавирусной инфекции на территории Российской Федерации».

– Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 8 мая 2020 г. № 648 «О деятельности подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации организаций в условиях предупреждения распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на территории РФ», в соответствии с которым был продлен период удаленной работы ППС и обучения студентов.

– Экспертные разъяснения по вопросам, возникающим в связи с использованием онлайн-курсов в целях предупреждения распространения коронавирусной инфекции Минобрнауки России: Часть 1 (от 18.03.20 г.) и Часть 2 (от 20.03.30 г.).

На основе имеющихся государственных и ведомственных нормативно-правовых актов, регламентирующих работу вузов в период пандемии, уже в апреле 2020 г. в большинстве (75 %) российских вузов были приняты свои соответствующие локальные нормативные акты (приказы и распоряжения), регламентирующие все имеющиеся особенности дистанционного обучения студентов и удаленной работы ППС: определяющие практически все условия использования дистанционных образовательных технологий, структуру, содержание и функционирование электронной информационно-образовательной среды вуза, содержание и наполнение отдельных электронных обучающих курсов (учебных дисциплин), порядок проведения и проверки самостоятельных работ студентов, лабораторных и курсовых работ, организацию и проведения лабораторных работ и практик, сдачи зачетов и экзаменов, а также проведения государственной итоговой аттестации, защиты выпускных работ и т.д., или были внесены соответствующие изменения в действующие нормативные акты вузов.

Так, одними из первых в Российской Федерации разработали и применили локальные акты и договора с ППС о дистанционной работе следующие национальные исследовательские университеты:

- ФБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева (национальный исследовательский университет) – «Положение о дистанционной работе» N 2165 от 28.04.2014.
- Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» – приказ ректора НИУ ВШЭ N 6.18.1-01/2211-3 от 22.11.2016 г. «Об утверждении Регламента административного сопровождения заключения, изменения, исполнения и прекращения трудовых договоров о дистанционной работе и типовых форм трудовых договоров о дистанционной работе».
- Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) – приказ ректора N 421-1 от 06.03.2020 г. «О регулировании труда дистанционных работников в МФТИ».
- Российский университет дружбы народов – приказ ректора N 64-р от 02.02.2021 г. «Об организации работы Российского университета дружбы народов в условиях распространения новой коронавирусной инфекции во втором семестре 2020-2021 годов».
- Пермский национальный исследовательский политехнический университет – приказ ректора № 2965-В от 20.09.2021 г. «О дистанционной форме обучения».
- Пермский национальный исследователь-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

ский политехнический университет – приказ ректора N 3073-В от 29.09.2021 г. «О частичном возобновлении очного формата обучения».

- Пермский национальный исследовательский политехнический университет – приказ ректора N 3607-В от 01.11.2021 г. «О мерах по предупреждению коронавирусной инфекции».
- Воронежский государственный технический университет – приказ ректора № 114 от 16.04.2020 г. «Об организации деятельности ВГТУ в условиях предупреждения распространения новой коронавирусной инфекции на территории Российской Федерации».
- Воронежский государственный технический университет – приказ ректора № 133 от 26.04.2020 г. «О предоставлении каникул обучающимся ВГТУ в условиях предупреждения распространения новой коронавирусной инфекции на территории Российской Федерации».

В этих и других локальных нормативных документах руководством вузов были детально регламентированы процесс и технологии обучения студентов в период объявленных локдаунов, а также в период дальнейшего развития пандемии. В частности, вводился контроль температуры на входе и установка средств дезинфекции в зданиях вузов, а также обязательность ношения медицинских масок. В Российском Университете Дружбы Народов (РУДН) между сменами осуществляется обязательная санитарная обработка аудиторий и других помещений, а все студенты, заселяемые в общежития, обязательно должны предоставить 3-дневную справку об отсутствии COVID-19, либо пройти 2-х недельную изоляцию в специальном медицинском блоке.

Важной составляющей перехода обучения студентов вузов на дистанционные технологии являлось их обеспечение соответствующими условиями – техникой и технологиями (т.к. современный уровень распространения Интернета в РФ только приближается лишь к 80 %), а также обладание «цифровой» компетентностью ППС, которые обязательно должны регламентироваться локальными нормативными университетскими актами (приказами или распоряжениями).

Во-многих российских вузах эти актуальные проблемы решились довольно быстро и достаточно эффективно [14], например, путем использования «цифровых волонтеров» (РЭУ им. Г.В. Плеханова, НИУ ВШЭ) или «цифровых киберволонтеров» (Дальневосточный федеральный университет), «цифровых консультантов» (Финансовый университет), а также на основе «цифрового тьюторства» (Санкт-Петербургский политехнический университет, Московский государственный педагогический университет).

Что касается ещё одного важного аспекта дистанционного обучения – должного развития коммуникаций в период действия пандемии COVID-19, то первоначально ППС вузов для коммуникаций со студентами использовали такие цифровые системы и платформы, как WhatsApp, Viber или социальные сети ВКонтакте, Facebook, а также видеохостинг YouTube [13]. Однако последующая практика показала, что данные цифровые ресурсы недостаточно адаптированы для ведения учебного процесса [5].

В последующем, для перевода своей практической деятельности, и прежде всего – обучения студентов, в формат онлайн, некоторые вузы стали использовать свои собственные цифровые наработки. Так, по данным Министерства образования и науки (МОН) РФ, к 2020 г. почти 90 % российских вузов были оснащены собственными LMS-платформами (Learning management system или система управления обучением). LMS – это платформа для организации учебного процесса и управления контентом. Системы управления обучением используются для обучения в школах и университетах, как площадки для продаж онлайн-курсов, тренингов и семинаров, для эффективного обучения персонала компаний. Помимо обучающей функции системы управления обучением помогают проводить тесты для сотрудников, оценку знаний работников, формировать планы развития, создавать базу знаний и мотивационные программы. LMS – аналог онлайн-курсов для сотрудников компании. Материалы в LMS не просто сложены в папку, а хорошо структурированы, доступны в удобном виде, а также позволяют отслеживать результаты обучения и дополнительно мотивировать сотрудников. Считается, что впервые нечто подобное системе управления обучением использовалось неким американским профессором ещё в 1728 году на курсах стенографии через газету. Развитие интернета спровоцировало рост популярности систем управления обучением, начиная с 90-х годов XX века. Обучение вышло за рамки университетов и стало использоваться для повышения квалификации работников, обучения персонала компаний, тестов для сотрудников и т. п.). В период пандемии 2020-2021 вузы, имеющие собственные LMS, фактически уже располагали и отработанными технологиями электронного взаимодействия с участниками образовательного процесса, а у преподавателей был определенный электронный контент и наработки для ведения учебных занятий и коммуникации со студентами [2,3].

Например, флагман российской высшей школы Московский государственный универси-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

тет им. М.В. Ломоносова использует собственную цифровую учебно-образовательную платформу «Университет без границ», которая позволяет ППС МГУ размещать на ней разработанные учебные материалы (книги, статьи, презентации, различные необходимые документы и т.д.), а также самостоятельные задания для студентов, необходимые тесты и проводить обучающие онлайн вебинары (OpenMeeting). При этом преподаватели, посредством видеофорумов, имеют широкую возможность напрямую общаться со своими студентами и на основе электронного журнала контролировать их обучение [11]. Цифровые платформы teach-in МГУ содержат свыше 300 уникальных обучающих курсов с 6 тыс. видеолекций от ведущих преподавателей МГУ и открыты для всех желающих.

В период пандемии COVID-19 вся дистанционная образовательная работа Томского государственного университета (ТГУ) осуществляется в так называемом «Электронном университете» [10], где было размещено свыше 5 тыс. образовательных курсов, необходимых студентам этого университета для эффективного обучения. При этом в ТГУ, как и во многих университетах России и мира, для обучения студентов используется система Moodle (Modular object-oriented dynamic learning environment) – Модульная объектно-ориентированная динамическая (виртуальная) обучающая среда.

Главное преимущество Moodle как цифровой интерактивной обучающей платформы заключается в том, что она обеспечивает преподавателям университета широкую возможность легко создавать и вести дистанционные курсы, обмениваясь при необходимости со студентами различными файлами. К тому же к Moodle можно подключиться с любого электронного устройства (гаджета), в котором предусмотрен выход в Интернет [10]. При этом каждый участник такого дистанционного образовательного процесса может создавать собственный профиль (с сохранением всех необходимых данных о курсе и своих достижениях). Обучающая платформа Moodle предусматривает и работу (чтение лекций) в потоке, одновременно для нескольких групп, с получением обязательной обратной связи. Преподаватели могут разрабатывать в цифровой платформе Moodle не только необходимые методические и другие материалы для контроля усвоения студентами предоставленных знаний, но и свою собственную систему их оценивания, сохраняя полученные результаты и наглядно видя время, проведённое в этой платформе на занятиях со студентами каждым из них. Кроме того, эта цифровая платформа использует более ясные и доступные для понимания студентов методики обучения.

Единой «точкой входа» в онлайн обучении для студентов и ППС Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина стал оперативно созданный единый учебный портал edu.gubkin.ru. Эта цифровая платформа объединила все имеющиеся учебно-методические задачи вуза [13]: размещения актуального учебного контента, проведения различных контрольных мероприятий (от текущей до государственной итоговой аттестации), а также стала средством коммуникации преподавателей со своими студентами. Данный портал включил в себя электронную обучающую среду Moodle, которая была апробирована в течение нескольких лет на ряде кафедр РГУНГ и довольно хорошо себя зарекомендовала. Она имеет массу возможностей, как размещения любых материалов, так и форм контроля, аналитики и коммуникаций. При этом в РГУНГ не ставят никаких запретов на использование кафедрами и отдельными ППС иных средств коммуникации со студентами. Так, преподаватели имеют полное право работать со студентами в любых облачных сервисах (Zoom, Microsoft Teams, BigBlueButton и т.д.).

В результате получилось так, что весьма популярными электронными ресурсами дистанционного обучения студентов в российских вузах оказались несколько общепринятых (внешних) цифровых (электронных) образовательных платформ и систем.

В частности, в Северном государственном медицинском университете в условиях коронавирусной эпидемии была внедрена в учебный процесс и широко используется удаленная работа со студентами на основе цифровой платформы Moodle. Эта платформа обладает довольно широкими возможностями как для выполнения полученных заданий студентами, так и для онлайн проведения лекций и семинарских занятий. В частности, в этой цифровой платформе предусмотрена специальная функция Big Blue Button, позволяющая проводить лекционные и семинарские занятия с довольно большим количеством студентов одновременно. Кроме того, в ней имеется возможность проведения презентаций, а также демонстрации с внешних ресурсов различных видеоматериалов, общения преподавателя со студентами через видео- и аудиосвязь, а также через чат и т.д.

В Чувашском государственном педагогическом университете им. И.Я. Яковлева используются такие обучающие цифровые платформы и системы, как Moodle 21, Zoom, Битрикс 24, BigBlueButton и др. (рис. 2).


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

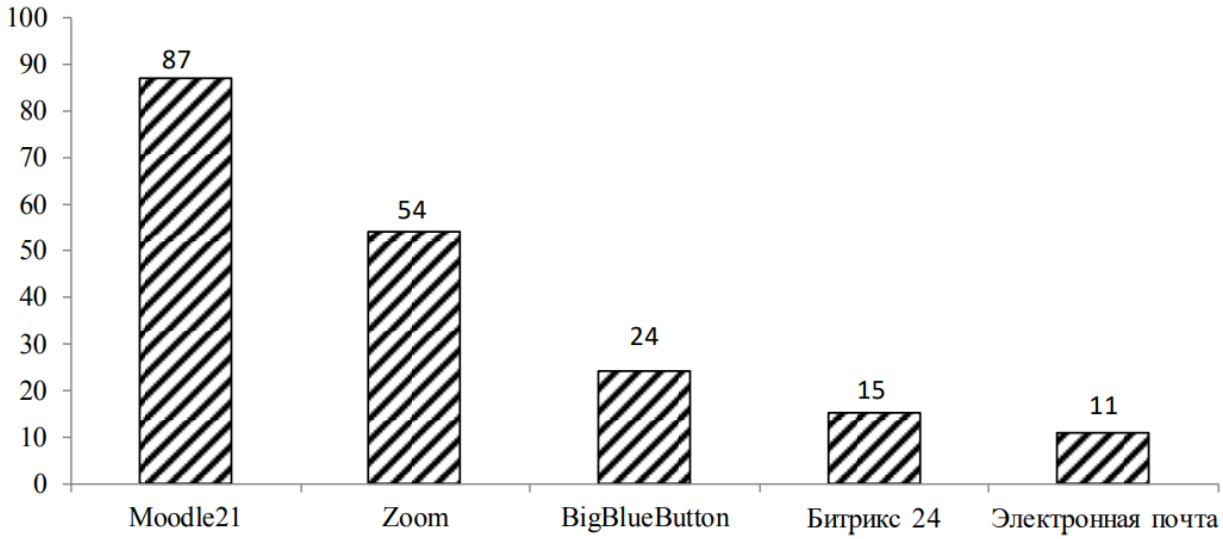



Рис. 2. Оценка использования ППС информационных систем для организации учебной работы со студентами в дистанционном режиме [1]

Наиболее эффективной электронной системой для самопроверки оказалась обучающая система Битрикс 24 (рис. 3).

Однако наработанный к настоящему времени опыт дистанционной работы со студентами показал, что, например, бесплатный вариант платформы Zoom имеет целый ряд недостатков [2]: ограниченность времени конференции, отсутствие контроля входа для посторонних участников, визуализация материала и т.п., и для его качественной работы необходим платный доступ, т.е. дополнительные затраты (в том числе – на обучение работе с этим цифровым ресурсом).

Кроме того, в вузовской среде довольно широко используются обучающая цифровая Национальная платформа «Открытое образование» (НПОО) и система «Coursera» [11].

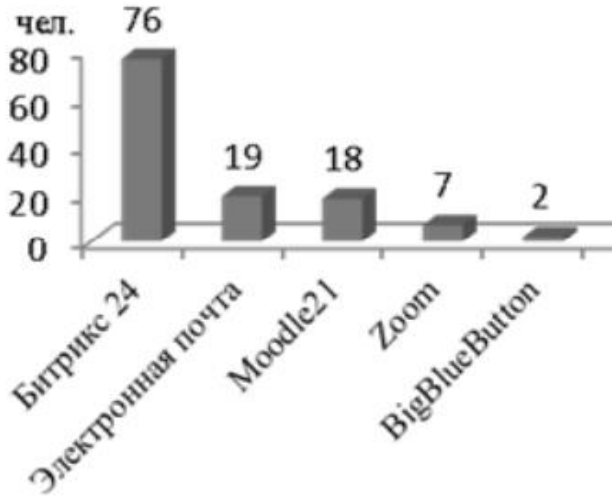



Рис. 3. Сравнение эффективности электронных систем для самоконтроля научно-педагогической деятельности в период дистанционной работы [1]

В частности, на основе использования НПОО обеспечиваются следующие курсы: математика, физика, русский язык, иностранные языки, экономика, информатика, инженерная компьютерная графика, философия, история, культурология и социология, правоведение, экология, безопасность жизнедеятельности, физическая культура и спорт.

В Тюменском государственном университете локальными актами было принято такое административное решение, согласно которому все курсы студентов проходят обучение по следующему плану: синхронные семинары – в Zoom, а асинхронные форматы (лекции и задания) – в Canvas.

В Балтийском федеральном университете имени Канта, в качестве основной цифровой платформы обучения студентов в период пандемии COVID-19 используется университетская Moodle LMS, обладающая возможностью обратной связи со студентами.

В Тольяттинском государственном университете (ТГУ) необходимые учебные материалы были размещены в системе онлайн-обучения «Росдистант» [11]. При этом доступ в личный кабинет осуществляется только под логином и паролем от Образовательного портала ТГУ. Сдача государственного экзамена и защита выпускной квалификационной работы студентов в этом вузе также обеспечены с помощью цифровой образовательной системы «Росдистант».

Таким образом, для организации эффективной учебной работы ППС российских вузов в настоящее время имеется достаточное количество цифровых образовательных ресурсов и информационных систем (платформ).

Ещё один важный аспект дистанционного образования, требующий разработки и исполь-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

зования локальных нормативных актов, представляет собой государственная итоговая аттестация студентов. Согласно Федеральному закону №273-ФЗ от 29.12.2012 г. «Об образовании в Российской Федерации» государственная итоговая аттестация (ГИА) студентов представляет собой особую форму количественной оценки степени и уровня освоения ими образовательной программы. Весной 2020 г. (из-за пандемии COVID-19) в российской высшей школе было принято официальное ведомственное решение проводить государственную итоговую аттестацию (ГИА) только в дистанционном формате. Это административное решение потребовало определённого пересмотра существовавших ранее ведомственных нормативно-правовых регламентирующих документов. Поэтому Министерство науки и высшего образования Российской Федерации выпустило приказ № 490 от 27 марта 2020 г. «О внесении изменений в некоторые приказы Министерства образования и науки Российской Федерации, касающиеся проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования», который практически полностью регламентирует данный аспект.

На основе этого документа, российские вузы уже самостоятельно, в соответствии с реальной ситуацией, посредством своих внутренних локальных нормативных актов, детально регламентировали процесс проведения ГИА и сами выбирали цифровые платформы и инструменты для обеспечения дистанционной работы, с помощью которых проводились ГИА [14].

В Вятском государственном университете, например, главной особенностью проведения дистанционных защит выпускных квалификационных работ студентов кафедры «Промышленной безопасности и инженерных систем» факультета «Строительства и архитектуры» Политехнического института стало использование технологий онлайн-прокторинга [11]. Для чего, специальный сотрудник университета – проктор – перед каждой защитой студентов с помощью веб-камеры проверял помещение, в котором находился защищающийся студент, на предмет наличия посторонних лиц и каких-либо шпаргалок или других вспомогательных материалов, а в ходе самой защиты – наблюдал за действиями студента, что повышало степень объективности защиты. Такой подход объясняется все ещё не высокой «academic integrity» – академической честностью российских студентов.

Кроме этого, большинство российских вузов, в дополнение к ведомственным и локальным нормативно-правовым актам, подготовили и разместили на соответствующих страницах своих сайтов необходимые методические рекомендации и различные инструкции для помощи студентам и преподавателям в их переходе на дистанционный формат обучения и работы, где (в том числе) приводятся перечни онлайн-курсов для свободного (бесплатного) использования студентами при освоении ими необходимых образовательных программ, а также в постоянном режиме размещается другая периодически разрабатываемая важная оперативная информация [11]. Тем самым руководство вузов оказывают реальную помощь студентам, преподавателям и сотрудникам, давая ответы на вопросы: как правильнее организовать эффективное обучение студентов в новых условиях, где и как освоить необходимые онлайн-курсы, как использовать цифровые (электронные) технологии для лучшей организации текущего учебного процесса и т.д.

Например, на сайте ТГУ существуют специальные разделы для преподавателей и студентов, которые содержат необходимые рекомендации по эффективному использованию конкретных цифровых платформ и специальных инструментов для работы в онлайн режиме (удаленной работы), а также детальные советы по осуществлению перехода на дистанционную форму обучения и удаленной работы. Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого также на своём сайте представил подробное описание основных механизмов (должные мероприятия, необходимые документы, количественная оценка итогов, способы и технологии решения наиболее часто возникающих проблем и т.д.) перехода на дистанционное обучение студентов. В РГУНГ им. Губкина были оперативно разработаны инструкции и видеокурсы для преподавателей и студентов по использованию платформы edu.gubkin.ru (такие, как «Создаём типовой курс вместе! Пошаговое руководство», «Как дома сделать запись презентации с голосовым сопровождением, используя стандартный Power Point», «Элемент Задание. Инструкция для студентов и преподавателей», «Проведение онлайн-занятия с видеосвязью BigBlueButton», «Видеоинструкция по прохождению теста студентами» и ряд других) [13].

В целях обеспечения безопасных условий для осуществления образовательного процесса 2021-2022 учебного года в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) руководствуются Указом Главы Донецкой Народной Республики от 14.03.2020 г. №57 «О введении режима повышенной готовности» (с изменениями), Приказом Министерства образования и науки Донецкой Народной Республи-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

ки от 10.11.2020 г. №1475 «Об утверждении методических рекомендаций по организации образовательного процесса в образовательных организациях/учреждениях среднего и высшего профессионального образования в период действия режима повышенной готовности, в условиях сохранения риска Распространения (COVID-19), приказом ректора от 24.03.2020 г. №72-12 «О принятии необходимых мер в период повышенной готовности», приказом ректора от 24.04.2020 г. №52-07 «Об обеспечении соблюдения санитарно-противоэпидемических норм и правил по предупреждению распространения новой коронавирусной инфекции».

Для обеспечения эффективной организации учебного процесса в дистанционном режиме был организован «Портал электронного обучения и дистанционных технологий для преподавателей и студентов ДонНТУ», объединивший в единый ресурс как многочисленные наработки и видеолекции преподавателей университета, так и ссылки на рекомендуемые электронные библиотечные фонды и внешние образовательные ресурсы. При этом следует отметить, что в ДонНТУ, наряду со ставшей уже классической образовательной платформой Moodle, активно внедрялась и использовалась более современная и продвинутая платформа OpenEdX, что в сочетании с собственными наработками вуза позволило существенно оптимизировать дистантный образовательный процесс.

Одновременно с переводом учебного процесса на дистанционную форму обучения вузы были вынуждены экстренно искать возможные варианты и для организации внеучебной работы со своими студентами, практически полностью меняя алгоритмы прежних, ранее сложившихся коммуникаций, которые также регламентировались локальными актами. Но и этот важный аспект деятельности вузов был также успешно разрешён, причем в совершенно разных направлениях и формах: от хорового пения в видеоформате до проведения шахматных турниров.

Объективная оценка осуществленного переформатирования российской системы высшего профессионального образования была дана 21 мая 2020 г. в режиме телеконференции на совещании под председательством Президента России В.В. Путина. В ходе него руководители многих ведущих вузов страны обсуждали переходный период и делились «кейсами» возглавляемых ими коллективов. К этому времени итоговым важным документом стал аналитический доклад «Уроки «стресс-теста»: вузы в условиях пандемии и после неё» (июнь, 2020), подготовленный по поручению Минобрнауки РФ рабочей группой ректоров ведущих российских университетов.

В заключении необходимо отметить, что если в начале пандемии около 88 % ППС российской высшей школы довольно скептически относились к формату дистанционного обучения, а более 40 % попросту считали, что такой формат существенно снижает качество современного высшего образования [4], то в настоящее время их доля резко уменьшилась. Это объясняется как повышением компетенций ППС вузов в данной области, так и постепенной их адаптацией к смене парадигмы образовательного процесса, что во многом определялось принятыми локальными нормативными актами.

**Список литературы**


1. Александрова Г. А., Васильева Л. Г., Филиппова И. В., Фоминых С. О. К вопросу организационно-методической деятельности преподавателей вуза при дистанционной работе // Казанский педагогический журнал №6. 2020. С. 29-37.
2. Алешковский И. А., Гаспаришвили А. Т., Крухмалева О. В., Нарбут Н. П., Савина Н. Е. Студенты России об обучении в период пандемии COVID-19: ресурсы, возможности и оценка учебы в удаленном режиме // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология №2. 2021. С. 211-224.
3. https://e-queo.com/blog/tpost/g8xtotsm4p-chto-takoe-lms
4. Аналитический доклад: Высшее образование: уроки пандемии. Оперативные и стратегические меры по развитию системы //https://www.tsu.ru/upload/iblock/%20 доклад_для_МОН_итог2020_.pdf.
5. Влияние пандемии COVID-19 на сектор высшего образования и магистратуру: международный, национальный и институциональный ответ. М., Национальный фонд подготовки кадров. 2020. 23 с.
6. Воробьев А. Е., Ваккер О. В., Забусов В. В., Гулан Е. А. Высшее профессиональное образование в XXI веке // Под ред. член-корр. РАН Опарина В.Н. Норильск. НИИ. 2010. 289 с.
7. Воробьев А. Е., Сулейманов А. М. Условия возникновения и прекращения эпидемий. Грозный. Спектр. 2020. 84 с.
8. Воробьев А. Е., Таймасханов Х. Э., Мадаева М. З. Основные тенденции развития высшей технической школы в XXI веке. Грозный. Грозненский рабочий. 2011. 496 с.
9. Воробьев А. Е., Торобеков Б. Т. Модерниза-



ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

ция российского высшего инженерного образования в ответ на вызовы современности. М., КноРус. 2014. 230 с.
10. Из периода пандемии можно и нужно брать максимум // Университетская книга №4. 2020. С. 15-21.
11. Кейсы быстрых реакций вузов в период пандемии // https://ioe.hse.ru/sao_universitycases.
12. Лобова С. В. Удаленный режим работы преподавателей российских вузов в условиях пандемии COVID-19: основания и восприятие // Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров №7. 2020. С. 208-213.
13. Мартынов В. Г., Кошелев В. Н., Душин А. В. Современный вызов для нефтегазового образования // Высшее образование в России 2020. Т.29. №12. С. 9-20. DOI: https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-12-9-20
14. Симакина М. А., Крылова Е. Б., Тарасова Г. В. Проблемы проведения государственной итоговой аттестации в условиях пандемии COVID-19 // Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Управление цифровой трансформацией общего и профессионального образования». Павлово, 2021. С. 189-195.
15. Штыхно Д. А., Константинова Л. В., Гагиев Н. Н. Переход вузов в дистанционный режим в период пандемии: проблемы и возможные риски // Открытое образование №5. 2020. С. 72-81.
16. COVID-19 Impact on Education [Электронный ресурс] – URL: https://en.unesco.org/ covid19/ educationresponse.

**Сведения об авторах**

**А.Е. Воробьев**
SPIN-код: 3457-6870
Телефон: +79 (16) 081-10-43
Эл. почта: fogel_al@mail.ru

**А.Н. Корчевский**
SPIN-код: 1293-7006
Телефон: +380 (71) 331-98-16
Эл. почта: korchevskyial@mail.ru

**А.Я. Аноприенко**
SPIN-код: 4819-8590
Телефон: +380 (71) 301-98-59
Эл. почта: anoprien@yandex.ru

*Статья поступила 29.09.2021 г.*
*© А.Е. Воробьев, А.Я. Аноприенко, А.Н. Корчевский, 2021*





ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 005.6

**Н.А. Ченцов /д.т.н./**
**А.А. Каракозов /к.т.н./**
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

# НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КАЧЕСТВА

*Инфраструктура качества в государстве необходима для создания производства безопасных и качественных изделий и защиты от мошенничества при сообщении о их свойствах. В её рамках рассматриваются вопросы стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия в масштабе от предприятий до международных организаций. В статье приведена разработанная структура национальной инфраструктуры качества и характеристика её компонентов.*

***Ключевые слова**: управление качеством, стандартизация, метрология, подтверждение соответствия, инфраструктура качества, уровни, система менеджмента качества, техническое регулирование.*

**Постановка проблемы**

Одной из задач государства является обеспечение выпуска качественной машиностроительной, электротехнической, металлургической и др. продукции. Оно подтверждается сертификатом соответствия или качества, разрабатываемым на основе сравнения нормативных и фактических значений показателей продукции выпускаемой предприятием. Вопросы качества решаются как на предприятии, так и в сторонних организациях государства, совокупность которых составляет национальную инфраструктуру качества (НИК). Известно различное толкование содержания НИК, определяемое кругом интересов разработчиков. Необходимо на основе комплексного рассмотрения контекста качества в масштабе государства выделить компоненты и сформировать структуру НИК.

**Анализ последних исследований и публикаций**

Объектами системы управления качеством может быть продукция или услуга. Целью управления является достижение необходимого качества. В рамках системы используются различные трактовки термина качества. Философская трактовка говорит: «Качество - существенная определенность объекта, благодаря которой он является именно этим, а не иным объектом. Благодаря качеству объект мыслится как нечто отграниченное от других объектов и одновременно характеризует весь класс однородных объектов» [1].

Определение, приведенное в стандарте [2] говорит: «Качество (quality) степень, в которой совокупность собственных (внутренне присущих) характеристик объекта соответствует требованиям». Перечень и значения характеристик могут быть приведены в некотором документе. Например, в техническом регламенте, технических условиях или договоре на поставку. В случае частного потребителя он использует собственную экспертную оценку качества объекта. Такая оценка позволяет выбрать предпочтительный из группы подобных объектов (с одним качеством в философской трактовке).

В стандарте [2] также приведена трактовка термина «Управление качеством (quality control) – часть менеджмента качества, нацеленная на выполнение требований к качеству». Контекст этого термина, использованный в [3,4,5,6], более широкий. Он включает:

– оценку качества с использованием положений квалиметрии и метрологии;
– статистические методы контроля качества продукции;
– теорию управления качеством;
– принципы построения системы менеджмента качества на предприятии;
– сертификацию и др.

Раскрытие предметной области управления качеством в учебных заведениях [7,8] предполагает рассмотрение: стандартизации; технического регулирования; сертификации и аккредитации; инструментов обеспечения качества и др.

В международном сообществе комплекс вопросов качества применительно к товарам рассматривается в United nations industrial development organization (UNIDO). В стратегии действий организации на 2018-2021гг. показано место стандартизации и качества [9]. Более детальное описание политики UNIDO в области качества приведено в документах [10,11] как QUALITY INFRASTRUCTURE (инфраструктура качества).


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Теоретические подходы к построению инфраструктуры качества в масштабе государства приведены в работах [12,13,14]. В настоящее время на государственном уровне принят ряд решений, направленных на формирование НИК в России [15].

Реализация технологического процесса по изготовлению изделия в соответствии с технической документацией обеспечивает получение изделия с заданными значениями показателей, иначе говоря, обладающего требуемым качеством. На реализацию технологического процесса влияет значительное количество различных факторов, часть из которых не учтена в документации. Результат их взаимодействия приводит к получению стохастического значения фактического качества конкретного изделия.

На любом предприятии существует система качества, направленная на выпуск изделий заданного качества. В простейшем случае такая система включает выявление и отбраковку готовых изделий, не обладающих требуемым качеством. Более совершенная система пронизывает всю структуру предприятия и представлена системой менеджмента качества по стандарту [3]. Наиболее известными разработчиками теоретических основ построения системы качества считаются:

– Шухарт У.Э. основоположник теории бережливого производства и статистического контроля качества на основе различного вида контрольных карт;

– Деминг У.Э., Джуран Д. – основоположники теории всеобщего управления качеством. В основе теории лежит цикл Деминга, включающий четыре этапа: планирование, производство, контроль, совершенствование продукции.

Система менеджмента качества на предприятии является начальным (первым) уровнем НИК.

Обеспечение качества предполагает решение различных задач, взаимодействующих между собой и составляющих инфраструктуру качества. В настоящее время известны укрупненные описания инфраструктуры, что затрудняет ее развитие. Научной проблемой является детализация инфраструктуры качества, включающей такие компоненты как стандартизация, метрология и подтверждение соответствия на уровнях от предприятия и выше.

**Цель (задачи) исследования**

Разработать содержание НИК, обеспечивающей изготовление качественных изделий и продукции в условиях России. Ее контекст должен включать комплекс вопросов начиная от предприятия и заканчивая международными организациями.

**Основной материал исследования.**

В целом система НИК включает ряд уровней.

*Первым уровнем системы* НИК является предприятие, изготавливающее продукцию или предоставляющее услуги. Целью системы НИК является обеспечение выпуска и предоставление потребителю качественной продукции или услуги. Продукция является «выходом» организации, полученным без взаимодействия с потребителем. Объем произведённой продукции может оцениваться исчисляемой характеристикой, например, количество изготовленных станков или утюгов. В случае обрабатываемых / перерабатываемых материалов объем выражается непрерывной характеристикой, например, количество добытого угля или предоставленной воды. Услуга включает обязательное действие между организацией и потребителем. Результатом услуги является продукт (материальный или нематериальный), выполненный по требованиям потребителя в рамках договора. Например, строительство объекта или ремонт оборудования; процесс оценки соответствия и приемка объекта. Предоставление качественной продукции предполагает решение организацией-производителем трех комплексов задач.

Первый комплекс включает определение перечня и значений нормативных требований к продукции, которые приводятся в технических условиях. Основой к разработке технических условий являются добровольные стандарты и/или обязательные технические регламенты. Технические регламенты разрабатываются и утверждаются государством для обеспечения безопасности объектов, которые могут нанести вред здоровью человека.

Второй комплекс включает внутреннюю оценку фактических значений показателей продукции определяемых в рамках ее испытаний. Такая оценка может быть получена на основе анализа результатов измерения физических величин, используя средства и методы метрологии, или используя подходы квалиметрии, включающей использование специальных шкал, не опирающихся на физические величины. При оценке фактических значений должна использоваться методика выполнения измерений, указанная в технических условиях.

Третий комплекс направлен на подтверждение соответствия фактических значений продукции нормативным и получение сертификата соответствия. В его рамках персонал предприятия подает заявку в соответствующий аккредитованный орган с просьбой выдать сертификат соответствия. Орган по сертификации рассматривает заявку, анализирует предоставленные документы.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

По заявке принимается решение, в котором указываются схемы сертификации. Затем выполняется отбор образцов продукции и проводятся их испытания в аккредитованной лаборатории. По результатам испытаний, с учетом использованной методики измерений, принимается решение о возможности выдачи сертификата соответствия. Данные о выданном сертификате соответствия размещаются в государственном реестре.

Подтверждением соответствия продукции выпускаемой предприятием требованиям НИК является наличие сертификата соответствия, выдаваемого организациями второго уровня.

*Второй уровень* НИК представлен центрами стандартизации и метрологии (ЦСМ). Они являются подведомственными организациями и официальными Представителями Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (РОССТАНДАРТ) на территории области. В деятельности центров можно выделить три направления.

Первое направление обеспечивает оказание услуг по предоставлению официальных копий нормативных документов и их актуализации:

– стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ Р ИСО/МЭК);

– технических регламентов;

– правил стандартизации, норм и рекомендаций в области стандартизации;

– правил по межгосударственной стандартизации;

– рекомендаций по метрологии и др.

В рамках направления выдаются письма по вопросам отнесения / не отнесения продукции к объектам обязательной сертификации или декларирования на территории государства («отказные письма»).

Второе направление включает деятельность в области метрологии, которая включает:

– поверку и калибровку средств измерения физических величин;

– оценка состояния измерений в испытательных, измерительных лабораториях и лабораториях производственного аналитического контроля;

– проверку квалификации посредством межлабораторных сличительных испытаний;

– испытания бытового и промышленного оборудования.

Третье направление включает деятельность в области сертификации продукции, которая включает:

– подтверждение соответствия продукции, попадающей в сферу действия оговоренных технических регламентов Таможенного Союза (безопасность);

– декларирование упаковки и произведенной продукции;

– сертификация соответствия ГОСТу (качества) в Национальной системе сертификации России.

Разрешением на деятельность подразделений ЦСМ в области стандартизации, метрологии и сертификации является наличие у них соответствующей аккредитации.

*Третий уровень* НИК включает национальный орган по аккредитации (НОА) уполномоченным государством на выполнение аккредитации подразделений ЦСМ. Требования к органам аккредитации приведены в международном стандарте [16]. В контексте приведенного стандарта деятельность НОА охватывает: испытания, калибровку, инспекцию, сертификацию систем менеджмента, персонала, продукции, процессов и услуг, проверку квалификации, производство стандартных образцов, валидацию и верификацию и др.

В НОА должно быть достаточное количество компетентного персонала, имеющего образование, подготовку, технические знания, навыки и опыт, необходимые для выполнения работ определенного вида, диапазона и объема. Этот орган должен иметь возможность пользоваться услугами достаточного числа экспертов по оценке, включая ведущих экспертов, и технических экспертов, чтобы охватить все сферы своей деятельности.

Основные работы по аккредитации выполняют эксперты по оценке. Они выезжают в лабораторию ЦСМ и оценивают соответствие содержания документов заявки поданной на аккредитацию фактическому состоянию лаборатории. В случае соответствия заявленных и фактических данных НОА предоставляет лаборатории официальный документ (аттестат аккредитации).

НОА России является Росаккредитация. Свою деятельность НОА строит на основе принципов, гармонизированных с международными и европейскими стандартами по аккредитации.

На этом же уровне ГОССТАНДАРТ России в масштабе государства решает задачи разработки различных видов стандартов, в том числе и по вопросам метрологии.

*Четвертый уровень* НИК обеспечивает гармонизацию деятельности НОА в вопросах аккредитации с международными и европейскими стандартами по аккредитации. Такая гармонизация обеспечивает реализацию решений Всемирной торговой путем применения технических регламентов и стандартов, процедур оценки соответствия, исключающих излишние барь-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

еры в международной торговле. Для реализации этих решений созданы две международные организации, которые имеют большое количество членов.

ILAC – International Laboratory Accreditation Cooperation / Международная организация по аккредитации лабораторий (ИЛАК). Ее деятельность включает аккредитацию в государстве через НОА, лабораторий и инспекционных органов, деятельность которых направлена на повышение качества и доверия к проводимым лабораторным испытаниям, оценкам соответствия и уровню квалификации персонала. Членство НОА в ILAC обеспечивает признание во всех государствах, входящих в ILAC протоколов испытаний, полученных в любом государстве - члене ILAC.

IAF (International Accreditation Forum) / Международный форум по аккредитации (МФА). Ее деятельность включает аккредитацию в государстве, через НОА, лабораторий по сертификации продукции и услуг. Членство НОА в IAF обеспечивает признание во всех государствах, входящих в IAF сертификатов соответствия, выданных в любом государстве - члене IAF.

Элементом НИК, представленном на первом и втором уровнях, является система менеджмента качества (СМК) [3]. СМК может разрабатываться для:

– промышленного предприятия на 1-м уровне;

– ЦСМ или испытательной лаборатории на 2-м уровне.

При построении СМК широко используют два понятия:

– процесс, результатом реализации которого является продукт или услуга. Процесс представлен совокупностью взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, которые используют «вход» для получения намеченного результата (выхода);

– процедура, описывающая каким образом реализуется (выполняется) процесс. В случае сложного процесса разрабатывается документированная процедура с использованием таблиц, вербально – описательного или графического способа

Построение СМК выполняется в соответствии со стандартом [3] и включает рассмотрение следующих вопросов.

*Среда организации* характеризуется внутренними и внешними факторами, влияющими на ее намерения и способности достигать результатов деятельности ее СМК. Внешняя среда представлена факторами, связанными с законодательной, технологической, конкурентной, рыночной, культурной, социальной и экономической средой на международном, национальном, региональном или местном уровне. Внутренняя среда представлена факторами, связанными с ценностями, культурой, знаниями и результатами работы организации.

*Лидерство* требует от руководителей всех уровней активного участия в решении задач СМК и обеспечения ее интеграции в бизнес – процессы организации. Важным признаком лидерства является ориентация организации на потребителя, который является центром деятельности руководителей всех уровней. Лидер разрабатывает политику организации в области качества, представленную ее глобальными целями. Политика должна быть доведена до работников организации и быть доступной для заинтересованных сторон.

*Планирование* выполняется с учетом факторов и требований, рисков и возможностей для обеспечения уверенности, что СМК может достичь намеченных результатов. Меры, принимаемые в отношении рисков и возможностей, должны быть пропорциональны их влиянию на соответствие продукции и услуг. Цели в области качества устанавливаются на период до одного года. Они должны: быть измеримыми и согласованными с политикой в области качества; обеспечивать соответствие продукции и услуг и повышение удовлетворенности потребителей.

*Средства обеспечения* для построения СМК и поддержания ее в актуальном состоянии, в первую очередь, представлены ресурсами. Наиболее важным ресурсом являются квалифицированные и компетентные должностные лица, необходимые для результативного внедрения СМК, обеспечения ее функционирования и управления ее процессами. Инфраструктура включает: здания и их инженерные системы; информационные и коммуникационные технологии и оборудование для их функционирования. Среда для функционирования процессов включает социальные, психологические и физические факторы.

*Ресурсы для мониторинга и измерения* представлены испытательным оборудованием и средствами измерения. Они предоставляются организацией в случае использования для получения имеющих законную силу и надежных результатов, необходимых для подтверждения соответствия продукции и услуг требованиям. Пригодность средств измерений должна подтверждаться документированной информацией, отражающей прослеживаемость измерений. Это включает: калибровку или поверку средств из-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

мерения; установление их статуса; защиту от несанкционированной регулировки; учет повреждений и ухудшения состояния.

*Документированная информация* отражает взаимодействие между элементами СМК для обеспечения результативности ее функционирования. Создание и актуализация документированной информации требует с использования идентификаторов и формата представления, для обеспечения ее пригодности и адекватности. Управление документированной информацией обеспечивает ее: распределение, доступность и поиск; управление изменениями; хранение, защиту и уничтожение. Документированная информация, регистрируемая и сохраняемая в качестве свидетельств соответствия, должна быть защищена от непредумышленных изменений.

*Деятельность на стадиях жизненного цикла* продукции и услуг начинается с планирования, где определяются требования (нормативы) к продукции и услугам; критерии для процессов и приемки продукции и услуг; ресурсы, необходимые для достижения соответствия требованиям к продукции и услугам. Управление производством продукции и предоставление услуг предполагает: доступность документированной информации с характеристикой продукции и запланированными результатами; доступность ресурсов для мониторинга и измерений; назначение компетентного персонала с требуемой квалификацией; валидацию способности процессов производства продукции и предоставления услуг достигать запланированных результатов, если конечный выход не может быть верифицирован последующим мониторингом или измерением; осуществление выпуска, поставки и действий после поставки.

*Оценка результатов деятельности* базируется на мониторинге, измерении и анализе. Для ее реализации организация должна определить: что подлежит мониторингу и измерениям и применяемые методы; сроки выполнения мониторинга и измерений. Организация должна оценивать результаты деятельности и результативность СМК. В значительной мере такая оценка определяется с учетом удовлетворенности потребителей. Внутренний аудит предназначен для получения информации, что СМК соответствует требованиям организации, а также результативно внедрена и функционирует. Анализ СМК со стороны руководства выполняется с заданной периодичностью для обеспечения ее постоянной пригодности, адекватности, результативности и согласованности с политикой организации.

*Улучшение организации* является непрерывно решаемой задачей. В ее рамках: улучшается продукция и услуги на основе текущих и ожидаемых требований потребителей; корректируется, предотвращается или снижается влияния нежелательных воздействий; улучшаются результаты деятельности и результативность СМК. Улучшения могут быть результатом: корректирующих действий; постоянного улучшения; прорывного изменения; инновации и реорганизации. Корректирующие действия выполняются при появлении несоответствий. Они предполагают анализ несоответствия и выявление его причин, разработку корректирующего воздействия с оценкой рисков и возможностей. Реализацию корректирующих действий путем внесения изменений в СМК. Масштаб корректирующих действий должен соответствовать последствиям выявленных несоответствий.

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в областях:

– установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации;

– применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг.

– в области оценки соответствия.

В рамках технического регулирования используют два вида норм. Они представлены техническими регламентами как обязательные к применению, которые обеспечивают безопасность продукции, и стандартами, применяемыми добровольно. Основные принципы технического регулирования включают:

– применение единых правил установления требований к продукции и связанным с ними процессам проектирования, производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;

– соответствие технического регулирования степени развития экономики, материально-технической базы и уровню научно-технического развития;

– независимость органов по аккредитации и сертификации от изготовителей, продавцов и потребителей;

– единую систему и правила аккредитации;


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org




Рис. 1. Компоненты национальной инфраструктуры качества

– единые методики испытаний и измерений при проведении оценки соответствия;

– единый подход к применению технических регламентов независимо от вида сделок;

– исключение ограничений конкуренции при выполнении аккредитации и сертификации.

Компонентами системы технического регулирования в масштабе государства являются:

– законодательные органы государства, обеспечивающие разработку нормативов, представленных в технических регламентах, стандартах и законах (3й уровень);

– органы исполнительной власти, обеспечивающие государственный надзор за соблюдением требований технических регламентов (3-й уровень);

– ЦСМ включающие органы по сертификации и испытательные лаборатории (2й уровень);

– изготовители, исполнители и потребители (2-й уровень).

Совокупность компонентов НИК объединена в четыре уровня, рис. 1. Правовое регулирование уровней, размещённых в государстве, выполняется в соответствии с правилами, приведенными в положениях технического регулирования.

СМК формируется для компонентов первого и второго уровней. На этих уровнях выполняются работы, связанные непосредственно с объектами, качество которых необходимо обеспечить. Через все уровни проходят три направления деятельности: стандартизация; метрология; оценка соответствия (соответствие).

**Выводы**

1) Разработана структура НИК, обеспечивающая выпуск качественной продукции (соответ-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

ствующей нормативным документам), которая включает компоненты: стандартизации; метрологии; подтверждение соответствия.

2) Вертикальная декомпозиция НИК позволяет выделить уровни: предприятия; центы стандартизации и метрологии; уполномоченные органы; международные организации.

3) Эффективные предприятия, центры стандартизации и метрологии предполагают наличие системы менеджмента качества, построенной в соответствии с ISO 9001-2015.

4) Правовое регулирование отношений по вопросам качества в рамках государства реализуется нормативными документами, составляющими систему «Техническое регулирование».

**Список литературы**


1) Философия. Философия и методология науки (понятия, категории, проблемы, школы, направления): терминологический словарь-справочник. – М.:, Директ-медиа, 2017. – 276 с.
2) ГОСТ ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества Основные положения и словарь; Введ. с 2015-11-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 69 с.
3) 3)ГОСТ ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества Требования. -Взамен ГОСТ Р ИСО 9001−2008; Введ. с 2015-11-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
4) Управление качеством: учебник / под общ. ред. С.А. Зайцева. – М.: КНОРУС, 2018. – 422 с.
5) Чубинский А. Н. Основы управления качеством. Учебное пособие. / А.Н. Чубинский; И.М. Батырева, Д.С. Русаков. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – 90 с.
6) Никитченко С. Л. Основы управления качеством продукции и услуг: учебное пособие // С.Л. Никитченко, В.А. Полуян, С.А. Балюк. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2020. – 107 с.
7) ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» Основная образовательная программа направления подготовки 27.03.02. Управление качеством – Донецк, 2017.-169с. // Режим доступа : https://donntu.org/sites/default/files/documents/sveden/oop_27.03.02_upravlenie_kachestvom_ksms.pdf (по состоянию на 05.08.2021).
8) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Учебный план 27.03.02 «Управление качеством» - 2020. 4с. // Режим доступа : https://programms.edu.urfu.ru/media/documents/00060730.pdf (по состоянию на 05.08.2021).
9) UNIDO’s medium-term programme framework 2018– 2021. From strategy to action // Режим доступа : https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-01/MTPF_Brochure_23-06-2017.pdf (по состоянию на 05.08.2021).
10) UNIDO Quality and compliance infrastructure // Режим доступа : https://www.unido.org/our-focus/advancing-economic-competitiveness/quality-and-compliance-infrastructure (по состоянию на 05.08.2021).
11) «REBOOTING QUALITY INFRASTRUCTURE FOR A SUSTAINABLE FUTURE» // Режим доступа : https://tii.unido.org/sites/default/files/publications/QI_SDG_PUBLICATION_Dec2019.pdf?_ga=2.159257663.465643739.1628148204-242554457.1628148204 (по состоянию на 05.08.2021).
12) Клименс С. Решение глобальной проблемы в области качества: Национальная инфраструктура качества // С. Клименс, Р.М. Марбан. – 2007. – 143с. // Режим доступа : http://old.belgim.by/uploaded/pdf/Sanetra_ru.pdf (по состоянию на 01.08.2021)
13) Botor C.S. Study on National Quality Infrastructure (NQI) & Government Regulatory Processes (GRP) // C.S. Botor, Echanove J. – 2011. – 171 с. // Режим доступа : http://phmstq.org/wp-content/uploads/2015/01/ NQI-study-final.pdf (по состоянию на 08.08.2021).
14) Uralova Z.V. Formation of the national infrastructure of the quality of goods with the application of international standards // Z.V. Uralova, L.T.Pulatova C 80-82/ // Режим доступа : http://ph.nursing.tma.uz/wp-content/uploads/2018/05/moluch_205_ch1.pdf (по состоянию на 08.08.2021).
15) Формируем национальную инфраструктуру качества. Стандарты и качество. 2020. №7. С. 6-7.
16) ГОСТ ИСО 17011-2018 Оценка соответствия Требования к органам по аккредитации, аккредитующим органы по оценке соответствия. – Введ. с 2019-06-01. – М.: Стандартинформ, 2018.-59с.


**N.A. Chentsov /Dr. Sci. (Eng.)/, A.A. Karakozov /Cand. Sci. (Eng.)/**
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

## NATIONAL QUALITY INFRASTRUCTURE

***Background.*** *Within the framework of the modern state, a complex of tasks is being solved, aimed at ensuring the safety and quality of products and services. The subject area of these tasks is the national*


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

*quality infrastructure. The university trains specialists to solve tasks in the environment of the national quality infrastructure. Qualitative training of such specialists requires the systematization and structuring of these tasks.*

***Materials and/or methods.*** *The study of approaches to building a national quality infrastructure was carried out on the basis of materials presented in various types of publications. The method used included the identification of typical infrastructure components and the relationship between them. For each component, its properties and tasks to be solved were considered.*

***Results.*** *In the subject area of infrastructure, specific issues are distinguished: standardization; metrology; certification; accreditation. The approaches to considering these issues, determined by the place in the infrastructure, led to the formation of four integrated sets of tasks studied at the university. 1) Theoretical foundations of quality management. 2) Levels of the national quality infrastructure system. 3) Component of the national quality infrastructure as a quality management system. 4) Technical regulation as legal support for solving problems.*

***Conclusion.*** *The analysis of the approaches used in the construction of the national quality infrastructure made it possible to identify and form four sets of tasks, the solution of which is based on: standardization, metrology, certification and accreditation.*

***Keywords:*** *quality management, standardization, metrology, confirmation of conformity, quality infrastructure, levels, quality management system, technical regulation.*

**Сведения об авторах**

**Н.А. Ченцов**
SPIN-код: 1855-3909
Телефон: +380 (71) 317 20 97
Эл. почта: cheneam7@gmail.com

**А.А. Каракозов**
Телефон: +380 (71) 317-20-97
Эл. почта: karakozov@donntu.org





ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 004.942

**Н.А. Ченцов /д.т.н./, С.Л. Сулейманов**
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

# РЕСУРСНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЕТАЛИ ОБОРУДОВАНИЯ

*Предложена имитационная модель, генерирующая данные изменения текущего технического состояния детали по ее нескольким реализациям. Использование модели обеспечивает формирование исходных данных для исследования статистических моделей в задачах ремонтной службы предприятия. В основе математической модели лежит функция интенсивности изменения текущего технического состояния, построенная из типовой кривой износа. Параметры функции представлены законами распределения. Генерирование значений параметров очередной реализации детали выполняется с использованием случайных чисел. Определение значений технического состояния реализации в заданный момент времени определяется с использованием интенсивности изменения технического состояния методом последовательного приближения.*

***Ключевые слова**: деталь оборудования, техническое состояние, типовая кривая износа, имитационная модель.*

**Постановка проблемы**

Среди задач ремонтной службы металлургического предприятия можно выделить группу предполагающих использование статистики, отражающей изменение технического состояния (ТС) *Y* и отказов деталей оборудования. Такие задачи направлены на: прогнозирование сроков отказа; планирование потребности в запасных частях; формирование плана ремонта и др. Известны различные подходы к формированию статистики, среди которых следует выбрать и разработать наиболее эффективные пути реализации.

**Анализ последних исследований и публикаций.**

Значительное количество задач ремонтной службы предполагает использование значительных объемов статистики при их исследовании и верификации [3,5]. Применяемые решения по формированию статистики изменения ТС деталей подходы можно объединить в три группы:

1) Из результатов эксплуатации реального оборудования [6], который обладает недостатками:

– длительный период накопления статистики (годы и десятки лет);

– сложность сохранения status quo условий эксплуатации в процессе накопления статистики;

– невозможность изменения условий эксплуатации оборудования по требованию исследователя.

2) Из использования специально изготовленной физической модели детали и стенда для испытаний [1,2]. К недостаткам такого подхода можно отнести:

– затраты на изготовление модели;

– длительность эксперимента – десятки суток и более;

– сложность и даже невозможность управления существенными факторами, влияющими на изменение ТС детали без изготовления нового стенда.

3) Из использования математической имитационной модели, реализованной в виде компьютерной программы [4]. При построении адекватной имитационной модели требуют учета следующие проблемы:

– сложность математического аппарата;

– отсутствие типового подхода к ее построению для случая изменения ТС детали;

– отсутствие эффективных моделей с физическими характеристиками параметров процесса износа.

Учитывая все более широкое использование имитационных моделей в исследовании различных объектов и процессов можно считать обоснованной разработку ее версии для случая изменения ТС детали.

Теоретические основы к построению общего случая имитационной модели приведены в публикации [7]. В работе рассмотрены вопросы математического моделирования и построения информационных систем моделирования. Подходы к построению имитационной модели, учитывающие стохастический характер параметров модели, приведены в работе [8]. Вопросы построения имитационных моделей комплексных объек-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

тов, отражающих изменения диагностических параметров рассмотрены в статьях [9,10]. Рассмотренные модели разработаны с использованием дерева событий и других подходов, не учитывающих физику изменения технического состояния детали оборудования в соответствии с типовой кривой износа. Место имитационной модели детали, использующей линейную функцию изменения ТС, показано в работе [11]. Модель роста, параметры которой обеспечивают управление функцией изменения отклика, приведена в работе [12].

**Цель (задачи) исследования**

Целью данной работы является разработка математической модели, обеспечивающей имитацию изменения ТС детали, в виде типовой кривой износа. На результат работы модели накладывает ограничения:

• ТС детали во времени может только ухудшаться;

• для управления моделью ее параметры должны отражать физические характеристики процесса износа (начальное и предельное ТС, минимальную и максимальную интенсивность износа и т.д.);

• учитывая стохастический характер изменения ТС реальной детали, разработанная математическая модель должна быть стохастической.

**Основной материал исследования**

Результатом работы имитационной модели являются сгенерированные точки кривой изменения ТС детали $y=f(t)$, рис. 1а. В процессе генерации точек используется зависимость интенсивности $I$ от ТС, $I=(y)$ рис. 1б.

Построение функции $I=(y)$ выполнено на основе модели роста [12]. Ее отличительной особенностью являются физические характеристики параметров. Использование модели роста обеспечивает учет ограничений, накладываемых физикой процесса изменения $Y=f(t)$ соответствующего типичной кривой износа:

• первая производная функции $y=f(t)$ (интенсивность) на всем интервале изменения $Y$ не должна менять знак (в рамках одной реализации состояние может только ухудшаться);

• начало функции (новая деталь) должно соответствовать заданным значениям ТС$y_0$ и времени $T_0$;

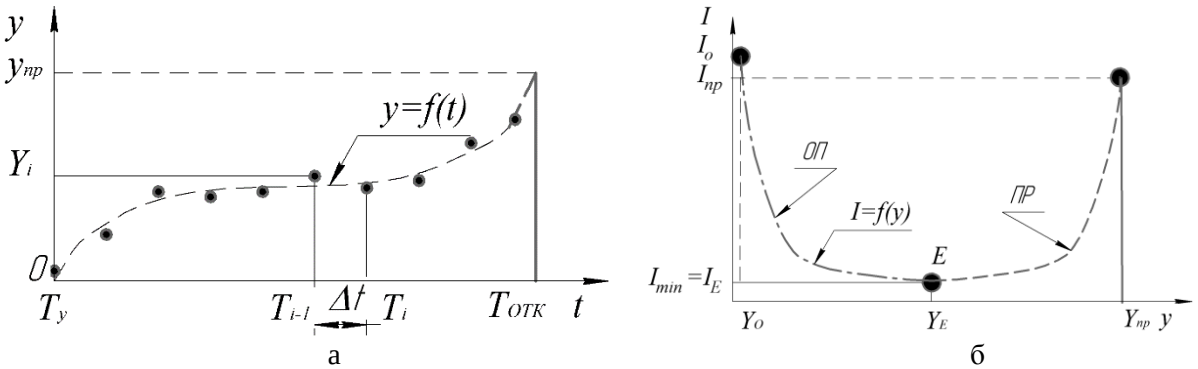
• окончание функции (предельное состояние детали) должно соответствовать заданному значению ТС$y_{ПР}$ и сгенерированному значению $T_{ОТК}$.

Для использования модели роста при построении функции интенсивности $I=(y)$ в точке $E$ экстремума она разделена на два участка, соответствующих: новой детали; изношенной детали.

Каждый участок описывается собственной моделью роста:

$$I=\begin{cases} I_E-(Y_E-Y_i)\dfrac{I_0-I_E}{Y_0-Y_E}K_0^{\frac{Y_i-Y_0}{Y_E-Y_0}}, \\ \text{при } Y_0<Y_i<Y_E \\ \boxed{\text{участок новой детали}}\ \text{ОП} \\ I_E-(Y_E-Y_i)\dfrac{I_E-I_{\text{ПР}}}{Y_E-Y_{\text{ПР}}}K_{\text{ПР}}^{\frac{Y_i-Y_{\text{ПР}}}{Y_{\text{ПР}}-Y_E}}, \\ \text{при } Y_E<Y_i<Y_{\text{ПР}} \\ \boxed{\text{участок изношеной детали}}\ \text{ПР} \end{cases}.$$

Предлагаемая функция интенсивности ТС $I=(y)$ содержит параметры, имеющие физический смысл: $Y_0$, $I_0$ – ТС и интенсивность его изменения в случае новой детали; $Y_{ПР}$, $I_{ПР}$ – ТС и интенсивность его изменения достигшей предельного состояния и требующей замены; $Y_E$, $I_E$ – ТС и минимальная интенсивность его изменения (экстремум); $K_0$ – коэффициент кривизны функции при ТС на участке новой детали; $K_{ПР}$ – коэффициент кривизны функции при ТС детали на участке изношенной детали.




а б

Рис. 1. Кривая изменения технического состояния:
*а* – типичная кривая ТС; *б* – кривая интенсивности изменения ТС


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Как известно, свойства детали и условия ее эксплуатации носят стохастический характер. Это приводит к различию значений параметров функции для каждой реализации детали. Однако, рассматривая случай использования текущей реализации детали при производстве одного сортамента продукции можно считать значения параметров функции детерминированными.

Учет стохастического характера параметров потребовал их представления с использованием законов распределения. Принимая нормальный закон распределения $N$значений параметров, каждый из них представлен парой показателей с индексами: $M$ – математического ожидания; $V$ – коэффициента вариации. Например, в случае ТС в точке экстремума имеем показатели: $M_{YE}$ – математическое ожидание; $V_{YE}$ – коэффициент вариации.

Определение детерминированных значений параметров текущей реализации детали выполняется с использованием собственного генератора RANDOM случайных чисел (0..1) для каждого параметра функции интенсивности. Например, для ТС в точке экстремума случайное число $R_{YE}=(RANDOM_{YE})$. В результате имеем случайное значение ТС в точке экстремума интенсивности как функцию от трех переменных $Y_E=f(M_{YE}, V_{YE} *R_{YE})$, определяемое по правилам нормального закона распределения.

Аналогичным образом определяются значения всех прочих параметров функции интенсивности за исключением $Y_{ПР}$, который является детерминированным и неизменным для любой реализации детали. Таким образом, использование генератора RANDOM обеспечивает получение уникальных параметров сгенерированной функции интенсивности для каждой реализации детали.

На рассматриваемой реализации детали $y=f(t)$ для определения значения $Y_j$ в очередной $j$-й точке от заданного значения $T_j$ используется сгенерированная функция интенсивности $I=f(y)$ и координаты известной (начальной) точки ($Y_{j-1}$, $T_{j-1}$). Поставленная задача решается методом последовательного приближения к моменту времени $T_j$ с шагом $\Delta Y$ по функции интенсивности $I=(y)$.

Начальные значения на первом шаге $k=1$ приближения принимаются равными $Y_{k-1}=Y_{j-1}$, $T_{k-1}=T_{j-1}$. Расчетное значение интенсивности в середине $k$-го шага приближения составит

$$I_k=f(Y_{k-1}+\Delta Y/2),$$

а ТС в конце $k$-го шага составит

$$Y_k=Y_{k-1}+\Delta Y.$$

Ему соответствует продолжительность $k$-го шага приближения:

$$\Delta t_k = \frac{\Delta Y}{k}.$$

и срок окончания шага

$$T_k = T_{k-1} + \Delta t_k.$$

При выполнении условия $T_k < T_j$ реализуется очередной $k=k+1$-й шаг итерации.

При выполнении условия $T_k \geq T_j$, используя линейную модель между последними точками, определяется ТС $Y_j$, соответствующее заданному моменту времени $T_j$

$$Y_j = Y_k - \frac{\Delta Y(T_k - T_j)}{T_k - T_{k-1}}.$$

В случае, если на очередном $k$-м шаге приближения будет превышено предельное ТС $Y_k \geq Y_{ПР}$ считается, что текущая реализация достигла предельного состояния (деталь отказала). Момент времени отказа детали при достижении предельного состояния определяется из выражения

$$T_{\text{ПР}} = T_k - \frac{\Delta t_k (Y_k - Y_{\text{ПР}})}{\Delta Y}.$$

Таким образом определяется момент времени $T_{ПР}$ окончания эксплуатации текущей детали.

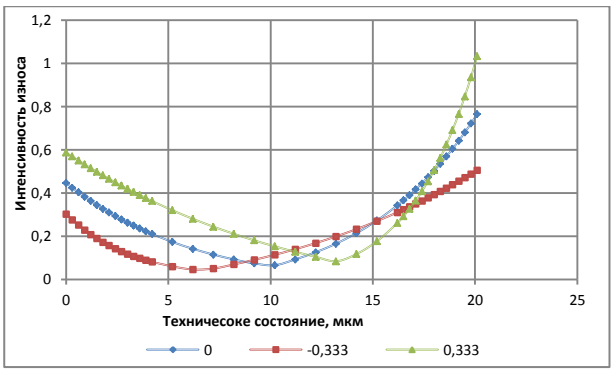
Первый вариант верификации разработанной имитационной модели выполнен для параметров, описанных нормальным законом распределения. Рассмотрены три случая кривой изменения ТС $y=f(t)$ для нулевого и предельных значений коэффициента вариации $V$ параметров функции $I=f(y)$ (табл. 1).

Используя параметры имитационной модели для различных $V$ сгенерированы функции $I=f(y)$ и на ее основе $y=f(t)$ (рис. 2).

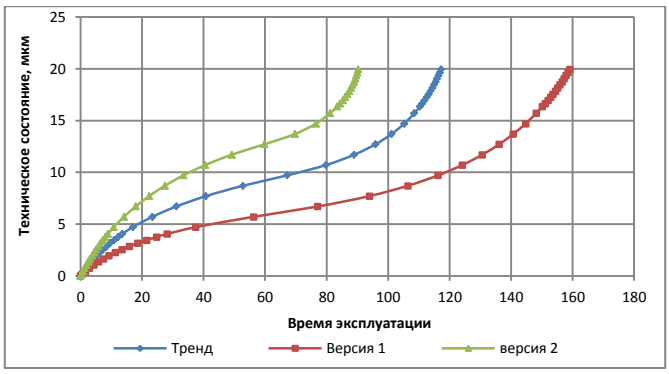
Табл. 1. Параметры имитационной модели для различных $V$

| Коэффициент вариации (условия эксплуатации) | **Параметры имитационной модели** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_0$ | $I_0$ | $Y_{ПР}$ | $I_{ПР}$ | $Y_E$ | $I_E$ | $K_0$ | $K_{ПР}$ |
| -1/3 (легкие) | 0,33 | 0,27 | 20 | 0,50 | 6,67 | 0,041 | 0,27 | 2,00 |
| 0 (средние) | 0,50 | 0,41 | 20 | 0,75 | 10,00 | 0,061 | 0,40 | 3,00 |
| 1/3 (тяжелые) | 0,66 | 0,56 | 20 | 1,00 | 13,30 | 0,081 | 0,53 | 4,00 |


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org




а

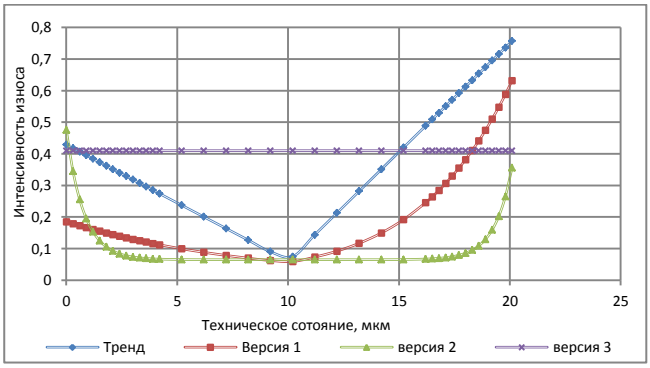



б

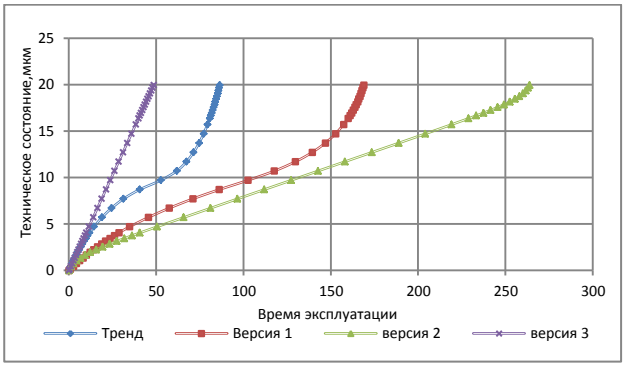
Рис. 2. Сгенерированные функции $y=f(t)$ для различных условий эксплуатации
*а* – функция - $I=f(y)$; *б* – функция - $y=f(t)$

Табл. 2. Параметры имитационной модели для различного характера изменения интенсивности

| Вид интенсивности | Параметры имитационной модели | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_0$ | $I_0$ | $Y_{ПР}$ | $I_{ПР}$ | $Y_E$ | $I_E$ | $K_0$ | $K_{ПР}$ |
| Constant | 0,3000 | 0,4100 | 0,4100 | 20 | 10 | 0,4100 | 1,00000 | 1 |
| Линейная | 0,5000 | 0,4100 | 0,7500 | 20 | 10 | 0,0610 | 1,00000 | 1 |
| Средняя нелинейность | 0,2329 | 0,1801 | 0,6167 | 20 | 10 | 0,0569 | 0,50000 | 5 |
| Высокая нелинейность | 0,1697 | 0,3955 | 0,3216 | 20 | 10 | 0,0650 | 0,00001 | 100000 |




а




б

Рис. 3. Сгенерированные функции $y=f(t)$ для различного характера изменения интенсивности
а – функция - $I=f(y)$, б – функция - $y=f(t)$

Анализ сгенерированных функций $y=f(t)$ показывает их подобие типовым кривым износа. При этом можно видеть увеличение срока службы детали при переходе от тяжелых условий эксплуатации к легким при прочих неизменных факторах.

Во втором варианте верификации рассматривалась чувствительность имитационной модели к характеру изменения интенсивности $I=f(y)$. Рассмотрены четыре случая, параметры моделей для которых приведены в табл. 2.

Используя значения параметров имитационной модели для различного характера изменения интенсивности, сгенерированы функции $I=f(y)$ и на их основе $y=f(t)$ (рис. 3).

Анализ сгенерированных функций $y=f(t)$ показывает их подобие типовым кривым износа. При этом можно видеть возможность, управляя параметрами функции $I=f(y)$ получать различные соотношения размеров участков типовой кривой износа: приработка; нормальная работа; ускоренный износ.

**Выводы**

1) Предложенная имитационная модель, обеспечивает генерацию точек, соответствующих типовой кривой износа.

2) Параметры модели отражают физические условия эксплуатации детали и ее свойств через интенсивность изменения технического состояния.

3) Изменение значений параметров модели обеспечивает управление функцией изменения технического состояния детали.

4) Параметры имитационной модели детали описываются законами распределения, что соответствует стохастическим условиям ее эксплуатации.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

**Список литературы**

1. Патент РФ №G01M13/04, 10.09.2009. Испытание подшипников // Патент России №2366917. / Станчев Д.И., Шабанов В.В.
2. Серебрянский А. И., Абрамов В. В., Картамышев К. С. Стенд для исследования на трение и износ подшипников скольжения// Актуальные направления научных исследований xxi века: теория и практика. – 2014. – №4-3(9-3). Т.2 – С.252–257.
3. ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство
4. Ковтун Л. И., Крюков О. В., Саушев А. В., Антоненко С. И. Аналитико-статистический метод оценки состояния и прогнозирования рисков сложных технических систем// Труды международного симпозиума «надежность и качество». – 2020. – Т.1 – С .264-269.
5. Кулешов С. С., Косарев В. П., Меренков О. А. Оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса грузоподъемных машин// Издательство «Научная артель». – 2016. – №1-2 – С.91–93.
6. Сидоров В. А. Донецкий национальный технический университет Журнал Prostoev.NET №1(10) 2017.
7. Эльберг М. С. Э530 Имитационное моделирование : учеб. пособие / М.С. Эльберг, Н.С. Цыганков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 128 с.
8. Власов М. В. В 58 Имитационное моделирование: учебно-методическое пособие для подготовки к лекционным и практическим занятиям / М.В. Власов; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ). – 2016. – 60 с.
9. Мальцев Г. Н., Назаров А. В., Якимов В. Л. Имитационное моделирование процесса диагностирования сложной технической системы с высоким уровнем автономности функционирования // Информационно-управляющие системы. – 2016. – №4(93). – С. 34-43.
10. Николайчук О. А., Берман А. Ф., Павлов А. И. Прогнозирование технического состояния опасных объектов методом имитационного моделирования// Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – №2. – С. 134-142.
11. Ченцов Н. А. Программная реализация генератора изменения технического состояния детали оборудования / Н.А. Ченцов, С.Л. Сулейманов // Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. научн.-практ. конф., 20-22 мая 2015 г. Т.3 : Инновационные технологии изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов - Донецк , 2015. – С. 60-63.
12. Использование модели роста для аппроксимации функций, определяемых износом детали Ченцов Н.А., Сулейманов С.Л. - С. 53-56.
13. Материалы международной научно-технической конференции: в 2-х частях Ответственный за выпуск О.А. Белов. – Том. Часть 2 сборник трудов конференции Камчатский государственный технический университет (Петропавловск-Камчатский).

**N.A. Chentsov /Dr. Sci. (Eng.)/, S.L. Suleimanov**
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

## RESOURCE SIMULATION MODEL OF EQUIPMENT PART

***Background.*** *Among the tasks of the repair service of a metallurgical enterprise, one can single out a group that involves the use of statistics reflecting the change in the technical condition (TS) Y and failures of equipment parts. Such tasks are aimed at: predicting the timing of failure; planning the need for spare parts; formation of a repair plan, etc. Various approaches to the formation of statistics are known, among which one should choose and develop ways of implementing the most effective one. Simulation mathematical models of parts are widely used.*

***Materials and/or methods.*** *The basic materials for the study are the principles of constructing a mathematical simulation model of the object and a typical curve of the wear of a part. The center of the model is the function of the wear rate of the part, depending on its technical condition. The function is described using a growth model, the parameters of which are of a physical nature. Generation of the period for reaching a given technical state is performed by the method of successive approximation. Using the model, you can get several sequentially located points of the technical condition for one implementation of the part.*

***Results.*** *The mathematical apparatus of the resource simulation model of the part has been developed, which makes it possible to generate a change in its technical state. The use of the model pro-*


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

*vides the formation of statistics, diagnostics and failures for a given number of realizations of the part.*

***Conclusion.*** *The proposed simulation model provides the generation of points of change in the technical state of the part corresponding to the typical wear curve. The parameters of the model reflect the physical operating conditions of the part and its properties through the intensity of changes in the technical state. Changing the values of the model parameters provides control over the function of changing the technical state of the part.*

***Keywords*****:** *equipment part, technical condition, typical wear curve, simulation model.*

**Сведения об авторах**

**Н.А. Ченцов**
SPIN-код: 1855-3909
Телефон: +380 (71) 317-20-97
Эл. почта: cheneam7@gmail.com

**С.Л. Сулейманов**
Телефон: +380 (71) 368-98-57
Эл. почта: nugnas@gmail.com





ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 622.625.6

**Рябко К.А.**
*ГОУ ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» (Донецк)*

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ШАХТНОГО ПОДВЕСНОГО МОНОРЕЛЬСОВОГО ЛОКОМОТИВА НА АККУМУЛЯТОРНОЙ ТЯГЕ

*В настоящее время все более широкое применение в транспортных системах горных предприятий находят подвесные монорельсовые локомотивы на аккумуляторной тяге. Эффективность их функционирования в значительной степени зависит от качества оценки, обоснования параметров и режимов работы тяговых средств. Выполнять оценку данных параметров целесообразно по функциональной модели работы. Разработка модели позволит определить функциональные связи между элементами электрического привода и системы управления шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.*

***Ключевые слова**: шахтный подвесной монорельсовый локомотив, функциональная модель, аккумуляторная батарея, электрический привод, система управления, звенья, входные и выходные параметры.*

**Постановка проблемы**

В настоящее время все более широкое применение в транспортных системах горных предприятий находят подвесные монорельсовые локомотивы на аккумуляторной тяге. Эффективность их функционирования в значительной степени зависит от качества оценки, обоснования параметров и режимов работы тяговых средств [1-5]. Выполнять оценку данных параметров целесообразно по функциональной модели работы.

**Анализ последних исследований и публикаций**

Как показал анализ публикаций, данного рода модели либо отсутствуют, либо дают косвенное представление о параметрах и режимах работы тягового электропривода аккумуляторного монорельсового локомотива [6-11].

Применяемые методы построения имитационных моделей требуют значительных затрат труда и времени высококвалифицированных инженеров и программистов [12-14]. По этой причине полученные модели при проектировании шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, как правило, недоступны широкому кругу практиков и в большинстве случаев используются для решения ограниченного круга задач.

**Цель (задачи) исследования**

Разработать функциональную модель работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Определить уровни детализации полученной модели, сгруппировать функции элементов. Используя комплексный подход, определить функциональные связи между элементами электрического привода и системой управления, а также привести ограничения для фазовых переменных звеньев функциональной модели работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

**Основной материал исследования**

Шахтный подвесной монорельсовый локомотив на аккумуляторной тяге представляет собой сложную систему, состоящую из множества различных элементов, которые в процессе работы тесно взаимодействуют друг с другом, оказывая взаимное влияние. К таким элементам можно отнести аккумуляторную батарею, систему управления, преобразователь электрической энергии, устройства реализации силы тяги и др. Функциональная модель шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге должна отражать как его структуру, так и взаимодействие ее элементов. Степень детализации моделирования может определяться в зависимости от поставленной задачи.

Учитывая сложную иерархическую структуру шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, при разработке их функциональных моделей следует выделить следующие уровни детализации, таблица 1. На


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

метауровне локомотив рассматривается как тяговое средство транспортной системы, выполняющее обслуживание входящего потока заявок на перевозку грузов и людей по горным выработкам. На макроуровне выполняется моделирование процесса функционирования тягового привода и системы управления. На микроуровне рассматриваются отдельные элементы локомотива как подсистемы, например, подсистема управления как отдельная САУ, тяговый двигатель как электромеханический преобразователь энергии и т.д. Функции элементов модели также целесообразно разделить на группы [15]:

- целевая функция ЦФ;
- основные функции ОФ;
- функции отдельных элементов ФОЭ.

Табл. 1. Уровни детализации функциональной модели работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге

| Уровень модели | Функции | Элемент | Состав функций |
|---|---|---|---|
| Метауровень | ЦФ1 | Локомотив | Тяга несамоходных подвесных монорельсовых экипажей с целью перевозки грузов и людей по горным выработкам |
| Макроуровень | ОФ1 | Тяговый электрический привод | Преобразование электрической энергии в механическую с целью реализации силы тяги |
| | ОФ2 | Пассивные и активные системы безопасности | Обеспечение необходимой безопасности движения |
| | ОФ3 | Тяговый привод, система управления, тормозные устройства | Изменение и регулирование режимов работы локомотива |
| Микроуровень | ФОЭ1 | Аккумуляторная батарея | Циклическое накопление энергии и автономное электропитание тягового привода и вспомогательных систем |
| | ФОЭ2 | Статический преобразователь | Преобразование рода тока, напряжения и частоты. Питание тяговых электродвигателей |
| | ФОЭ3 | Тяговый электродвигатель | Электромеханическое преобразование электрической энергии |
| | ФОЭ4 | Механический редуктор | Передача мощности вращением, редукция частоты и вращающего момента |
| | ФОЭ5 | Приводные колеса | Реализация касательной силы тяги, преобразование механической энергии вращения в кинетическую энергию движения поезда |
| | ФОЭ6 | Устройства измерения и контроля | Получение значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Контроль изменения параметров работы систем локомотива. Селекция и формирование сигналов |
| | ФОЭ7 | Система управления | Формирование управляющих воздействий. Реализация принципа управления. Сбор данных о состоянии локомотива. Контроль отклонения эталонных значений регулируемых величин. Защитные функции |
| | ФОЭ8 | Система торможения | Снижение скорости движения или остановка локомотива |


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Важным требованием к разрабатываемой функциональной модели шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге является универсальность, что предполагает возможность ее дальнейшего использования для решения широкого круга научно-прикладных задач. Указанные задачи, как правило, будут направлены на повышение эффективности работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

Одним из решений данной проблемы является модульная организация функциональной модели работы на макроуровне. Такой подход позволяет упростить синтез моделей, обобщить параметры и режимы работы шахтных локомотивов на аккумуляторной тяге, что сделает их доступными широкому кругу инженерно-технических работников транспортных систем горных предприятий.

Для решения задачи построения функциональной модели работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге целесообразно использовать комплексный подход, который связывает между собой множество возможных решений $R$ [12…14], как совокупность подмножеств технических характеристик локомотива, показателей эксплуатации и стоимостных показателей:

$$R = \{R_i\} = \{R_1, R_2, R_3\},$$

где $R_1$ – подмножество технических характеристик шахтного монорельсового локомотива; $R_2$ – подмножество показателей эксплуатации; $R_3$ – подмножество стоимостных показателей.

На сегодняшний день в эксплуатации находятся несколько вариантов шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге. На данных локомотивах применяются различные варианты схем и элементов тягового электрического привода [1-4, 16]. Исходя из анализа тяговых приводов, предлагается следующая обобщенная функциональная модель работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге (рис. 1).

Разработанная модель позволяет определить функциональные связи между элементами электрического привода и системы управления шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. В отличие от других моделей [17, 18] приведенная модель учитывает не только технические, но и стоимостные показатели элементов тяговой передачи шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. В основе разработанной модели лежит наиболее распространенный тип электрического привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Характерной особенностью разработанной модели является ее универсальность, так как она учитывает параметры работы тяговой передачи, как с электродвигателями постоянного тока, так и асинхронными и синхронными двигателями переменного тока.

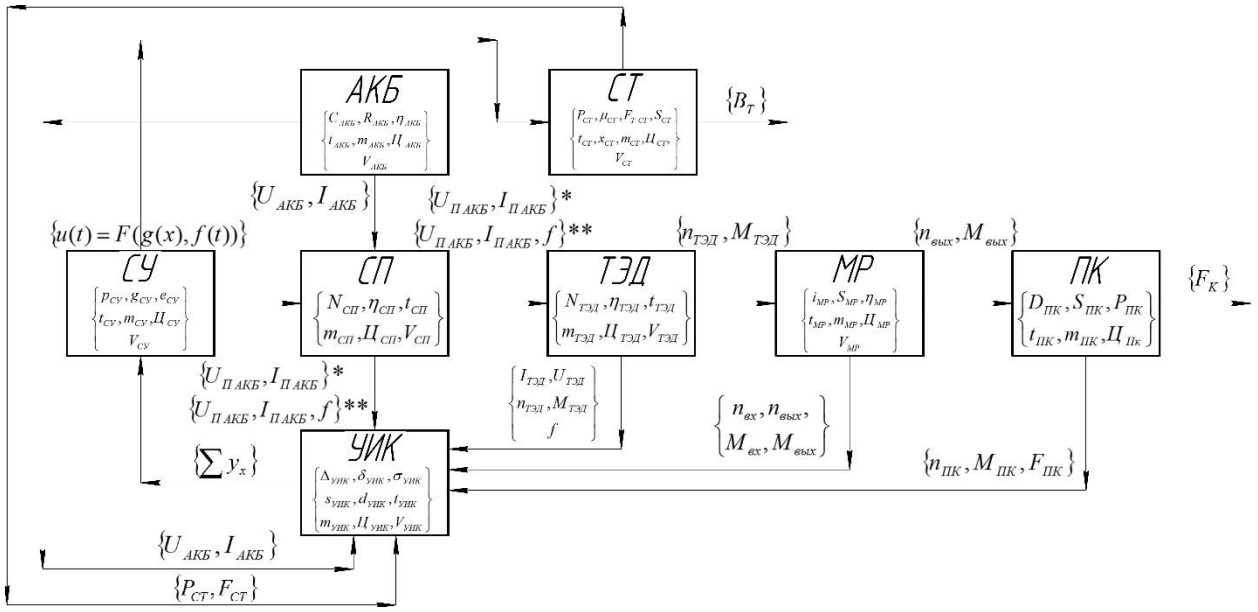



Рис. 1. Функциональная модель работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге

* – для тягового электропривода с двигателями постоянного тока,

** – для тягового электропривода с двигателями переменного тока


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Рассмотрим параметры каждого звена функциональной модели и дадим описание взаимосвязей между отдельными элементами тягового электрического привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Для звена аккумуляторная батарея (АКБ) учитываются следующие внутренние параметры АКБ:

$$\begin{Bmatrix} C_{АКБ}, R_{АКБ}, \eta_{АКБ} \\ t_{АКБ}, m_{АКБ}, Ц_{АКБ} \\ V_{АКБ} \end{Bmatrix},$$

где $C_{АКБ}$ – емкость АКБ, А·ч; $R_{АКБ}$ – внутреннее сопротивление АКБ, Ом; $\eta_{АКБ}$ – коэффициент полезного действия АКБ; $t_{АКБ}$ – температура АКБ, ºС; $m_{АКБ}$ – масса АКБ, кг; $V_{АКБ}$ – объем АКБ, м$^3$; $Ц_{АКБ}$ – стоимость АКБ, руб.

Выходные параметры АКБ и входные для статического преобразователя и устройств измерения и контроля:

$$\{U_{АКБ}, I_{АКБ}\},$$

где $U_{АКБ}$ – напряжение аккумуляторной батареи, В; $I_{АКБ}$ – ток аккумуляторной батареи, А.

Для звена статический преобразователь электрической энергии (СП) в функциональной модели принимаются следующие внутренние параметры:

$$\begin{Bmatrix} N_{СП}, \eta_{СП}, t_{СП} \\ m_{СП}, Ц_{СП}, V_{СП} \end{Bmatrix},$$

где $N_{СП}$ – электрическая мощность СП, Вт; $\eta_{СП}$ – коэффициент полезного действия СП; $t_{СП}$ – температура СП, ºС; $m_{СП}$ – масса СП, кг; $V_{СП}$ – объем СП, м$^3$; $Ц_{СП}$ – стоимость СП, руб.

Из звена СП выходные параметры и соответственно входные для тягового электродвигателя:

– постоянного тока $\{U_{П\,АКБ}, I_{П\,АКБ}\}$*;

– асинхронного или синхронного переменного тока $\{U_{П\,АКБ}, I_{П\,АКБ}, f\}$**,

где $U_{П\,АКБ}$ – потребляемое напряжение от АКБ, В; $I_{П\,АКБ}$ – потребляемый ток от АКБ, А; $f$ – частота тока на выходе из СП, Гц.

Принимаем следующие внутренние параметры для звена тяговый электродвигатель (ТЭД):

$$\begin{Bmatrix} N_{ТЭД}, \eta_{ТЭД}, t_{ТЭД} \\ m_{ТЭД}, Ц_{ТЭД}, V_{ТЭД} \end{Bmatrix},$$

где $N_{ТЭД}$ – электрическая мощность ТЭД, Вт; $\eta_{ТЭД}$ – коэффициент полезного действия ТЭД; $t_{ТЭД}$ – температура ТЭД, ºС; $m_{ТЭД}$ – масса ТЭД, кг; $V_{СП}$ – объем ТЭД, м$^3$; $Ц_{СП}$ – стоимость ТЭД, руб.

Запишем выходные параметры звена ТЭД для устройств измерения и контроля:

$$\begin{Bmatrix} I_{ТЭД}, U_{ТЭД} \\ n_{ТЭД}, M_{ТЭД} \\ f \end{Bmatrix},$$

где $I_{ТЭД}$ – электрическая мощность ТЭД, Вт; $U_{ТЭД}$ – напряжение на зажимах ТЭД, В; $n_{ТЭД}$ – частота вращения вала ротора (якоря) ТЭД, с$^{-1}$; $M_{ТЭД}$ – момент на валу ТЭД, Н·м; $f$ – частота питающего напряжения ТЭД для двигателей переменного тока, Гц (в случае применения двигателя постоянного тока, фазовая переменная $f$ исключается из совокупности подмножеств).

Выходные параметры звена ТЭД и, соответственно, входные для механического редуктора:

$$\{n_{ТЭД}, M_{ТЭД}\}.$$

Запишем внутренние параметры для звена механический редуктор (МР):

$$\begin{Bmatrix} i_{МР}, S_{МР}, \eta_{МР} \\ t_{МР}, m_{МР}, Ц_{МР} \\ V_{МР} \end{Bmatrix},$$

где $i_{МР}$ – передаточное отношение МР; $S_{МР}$ – запас прочности МР; $\eta_{МР}$ – коэффициент полезного действия МР; $t_{МР}$ – температура МР, ºС; $m_{МР}$ – масса МР, кг; $V_{МР}$ – объем МР, м$^3$; $Ц_{МР}$ – стоимость МР, руб.

Выходные параметры МР для устройств измерения и контроля:

$$\begin{Bmatrix} n_{вх}, n_{вых}, \\ M_{вх}, M_{вых} \end{Bmatrix},$$

где $n_{вх}$ – частота вращения на входном валу МР, с$^{-1}$; $n_{вых}$ – частота вращения на выходном валу


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

МР, $с^{-1}$; $M_{вх}$ – вращающий момент на входном валу МР, Н·м; $M_{вых}$ – вращающий момент на выходном валу МР, Н·м.

Выходные параметры МР и соответственно входные для приводных колес:

$$\{n_{вых}, M_{вых}\}.$$

Принимаем следующие внутренние параметры для звена приводные колеса (ПК):

$$\begin{Bmatrix} D_{ПК}, S_{ПК}, P_{ПК} \\ t_{ПК}, m_{ПК}, Ц_{Пк} \end{Bmatrix},$$

где $D_{ПК}$ – диаметр ПК, м; $S_{ПК}$ – запас прочности ПК; $P_{ПК}$ – сила прижатия ПК к монорельсу, Н; $t_{ПК}$ – температура ПК, ºС; $m_{ПК}$ – масса ПК, кг; $Ц_{ПК}$ – стоимость ПК, руб.

Целевым выходным параметром звена ПК является множество значений фазовой переменной, сила тяги:

$$\{F_K\},$$

где $F_K$ – касательная сила ПК, Н.

Выходные параметры ПК для устройств измерения и контроля:

$$\{n_{ПК}, M_{ПК}, F_{ПК}\},$$

где $n_{ПК}$ – частота вращения ПК, $с^{-1}$; $M_{ПК}$ – вращающий момент на ПК, Н·м; $F_{ПК}$ – вращающий момент ПК, Н.

Запишем внутренние параметры для звена, устройства измерения и контроля (УИК):

$$\begin{Bmatrix} \Delta_{УИК}, \delta_{УИК}, \sigma_{УИК} \\ s_{УИК}, d_{УИК}, t_{УИК} \\ m_{УИК}, Ц_{УИК}, V_{УИК} \end{Bmatrix},$$

где $\Delta_{УИК}$ – погрешность УИК; $\delta_{УИК}$ – класс точности УИК; $\sigma_{УИК}$ – диапазон измерений УИК; $s_{УИК}$ – чувствительность УИК; $d_{УИК}$ – стабильность УИК; $t_{УИК}$ – температура УИК, ºС; $m_{УИК}$ – масса УИК, кг; $V_{УИК}$ – объем УИК, $м^3$; $Ц_{УИК}$ – стоимость УИК, руб.

Выходные параметры УИК и соответственно входные для системы управления:

$$\left\{\sum y_x\right\},$$

где $\sum y_x$ – селективный сигнал управляемых величин.

Принимаем следующие внутренние параметры для звена система управления (СУ):

$$\begin{Bmatrix} p_{СУ}, g_{СУ}, e_{СУ} \\ t_{СУ}, m_{СУ}, Ц_{СУ} \\ V_{СУ} \end{Bmatrix},$$

где $p_{СУ}$ – принципы управления СУ; $g_{СУ}$ – эталонные значения регулируемых параметров; $e_{СУ}$ – ошибка регулирования; $t_{СУ}$ – температура СУ, ºС; $m_{СУ}$ – масса СУ, кг; $Ц_{СУ}$ – стоимость СУ, руб. $V_{СУ}$ – объем СУ, $м^3$;

Выходные параметры СУ и соответственно входные для СП:

$$\{u(t) = F(g(x), f(t))\}.$$

Рассмотрим внутренние параметры системы торможения (СТ) шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге:

$$\begin{Bmatrix} P_{СТ}, \mu_{СТ}, F_{Т\,СТ}, S_{СТ} \\ t_{СТ}, x_{СТ}, m_{СТ}, Ц_{СТ}, \\ V_{СТ} \end{Bmatrix},$$

где $P_{ст}$ – давление в СТ, Па; $\mu_{СТ}$ – коэффициент трения тормозных колодок СТ; $F_{Т\,СТ}$ – сила трения фрикционных поверхностей тормоза, Н; $S_{СТ}$ – запас прочности СТ; $t_{СТ}$ – температура СТ, ºС; $x_{СТ}$ – допустимые размеры тормозных колодок и других элементов СТ, м; $m_{СТ}$ – масса СТ, кг; $Ц_{СТ}$ – стоимость СТ, руб. $V_{СТ}$ – объем СТ, $м^3$;

Выходные параметры СТ для звена УИК:

$$\{P_{СТ}, F_{ТСТ}\}.$$

Соответственно целевым выходным параметром СТ будет множество значений фазовой переменной, сила торможения:

$$\{B_T\}.$$

Следовательно, для фазовых переменных звеньев функциональной модели работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге целесообразно привести ограничения:


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

$$
\begin{cases}
\begin{cases}
\max C_{АКБ} \ge C_{АКБ} \ge \min C_{АКБ}, \max R_{АКБ} \ge R_{АКБ} \ge \min R_{АКБ}, \max \eta_{АКБ} \ge \eta_{АКБ} \ge \min \eta_{АКБ}, \\
\max t_{АКБ} \ge t_{АКБ} \ge \min t_{АКБ}, \max m_{АКБ} \ge m_{АКБ} \ge \min m_{АКБ}, \max Ц_{АКБ} \ge Ц_{АКБ} \ge \min Ц_{АКБ}, \\
\max V_{АКБ} \ge V_{АКБ} \ge \min V_{АКБ}, \\
\max U_{АКБ} \ge U_{АКБ} \ge \min U_{АКБ}, \max I_{АКБ} \ge I_{АКБ} \ge \min I_{АКБ};
\end{cases} \\
\begin{cases}
\max N_{СП} \ge N_{СП} \ge \min N_{СП}, \max \eta_{СП} \ge \eta_{СП} \ge \min \eta_{СП}, \max t_{СП} \ge t_{СП} \ge \min t_{СП}, \\
\max m_{СП} \ge m_{СП} \ge \min m_{СП}, \max Ц_{СП} \ge Ц_{СП} \ge \min Ц_{СП}, \max V_{СП} \ge V_{СП} \ge \min V_{СП}, \\
\max U_{П\,АКБ} \ge U_{П\,АКБ} \ge \min U_{П\,АКБ}, \max I_{П\,АКБ} \ge I_{П\,АКБ} \ge \min I_{П\,АКБ}, \max f \ge f \ge \min f;
\end{cases} \\
\hline
\begin{cases}
\max D_{ПК} \ge D_{ПК} \ge \min D_{ПК}, \max S_{ПК} \ge S_{ПК} \ge \min S_{ПК}, \max P_{ПК} \ge P_{ПК} \ge \min P_{ПК}, \\
\max t_{ПК} \ge t_{ПК} \ge \min t_{ПК}, \max m_{ПК} \ge m_{ПК} \ge \min m_{ПК}, \max Ц_{ПК} \ge Ц_{ПК} \ge \min Ц_{ПК}, \\
\max F_{К} \ge F_{К} \ge \min F_{К}, \\
\max n_{ПК} \ge n_{ПК} \ge \min n_{ПК}, \max M_{ПК} \ge M_{ПК} \ge \min M_{ПК}, \max F_{ПК} \ge F_{ПК} \ge \min F_{ПК};
\end{cases}
\end{cases}
$$

На основании приведенных ограничений можно выбрать решение, которое обращает целевую функцию фазовой переменной в максимум или минимум. Примером задачи максимизации целевой функции фазовой переменной может быть коэффициент полезного действия, мощность, сила тяги и другие параметры шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Задачами минимизации целевой функции фазовой переменной могут являться стоимость звена функциональной модели, масса при условии сохранения требуемых технических параметров и т. д.

Определив параметры каждого звена функциональной модели, имея описание взаимосвязей между отдельными элементами и граничные условия фазовых переменных звеньев тягового электрического привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге, приведем описание функциональной модели.

Электрическая энергия с аккумуляторной батареи подается на статический преобразователь тока, который преобразует электрическую энергию до требуемых значений по току, напряжению и в случае применения двигателей переменного тока по частоте. Статический преобразователь также выполняет коммутирующую функцию в силовой цепи тягового электропривода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Сигналами обратной связи статического преобразователя для системы управления являются действительные (требуемые) значения тока, напряжения и частоты в цепи тяговых электродвигателей.

В тяговых электродвигателях происходит электромеханическое преобразование электрической энергии в вращающий момент на валу якоря или ротора, который приводит во вращение ведомый вал механического редуктора. Сигналы обратной связи тяговых электродвигателей, ток, напряжение, частота вращения, вращающий момент и частота тока, в случае применения двигателей переменного тока, на основании данных сигналов система управления формирует управляющие воздействия.

Механический редуктор преобразует механическую энергию вращения вала якоря/ротора тягового двигателя с требуемым передаточным отношением и приводит во вращение приводные колеса шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Приводные колеса преобразуют механическую энергию в кинетическую энергию движения шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Система торможения шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге выполняет функции снижения скорости движения и (или) остановки.

Совокупность устройств измерения и контроля формируют сигналы обратной связи от звеньев привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Результирующий сигнал требуемых параметров и режимов работы подается в систему управления. Система управления формирует управляющие воздействия, которые поступают на статический преобразователь и систему торможения.

**Выводы**

На основании методов решения комбинаторно-оптимизационных задач определен оптимальный уровень и организация функциональной модели работы шахтных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге. Разрабо-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

танная модель позволяет определить функциональные связи между элементами электрического привода и системы управления шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. В отличие от других моделей приведенная модель учитывает не только технические, но и стоимостные показатели элементов тяговой передачи шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге. Характерной особенностью разработанной модели является ее универсальность, так как она учитывает параметры работы тяговой передачи как с электродвигателями постоянного тока, так и асинхронными и синхронными двигателями переменного тока.

Получены системы ограничений для фазовых переменных звеньев функциональной модели работы шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге, на основании которых можно выбрать решение, обращающее целевую функцию фазовой переменной в максимум или минимум.

Полученные результаты рекомендуется использовать при синтезе моделей, обобщении или декомпозиции параметров и режимов работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, что расширит их область применения для круга инженерно-технических работников транспортных систем горных предприятий.

**Список литературы**


1. Васильев К. А., Николаев А. К., Сазонов К. Г. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 544 с.
2. Pieczora E., Suffner H. Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych // Maszyny Górnicze. 2017. Vol.35. No.3. P. 44-57.
3. Тарасов В. М., Тарасова Н. И., Буялич Г. Д., Ефлов А. Е., Тарасов Д. В. Повышение эффективности работы подвесного монорельсового транспорта за счет рационального размещения груза // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. №4. С. 89-101.
4. Pieczora E., Tokarczyk J. Development of mine underground transportation with use of suspended monorails // Mining–Informatics, Automation and Electrical Engineering. 2017. Vol. 55. No. 4 (532). P. 96-106.
5. Рябко К. А., Гутаревич В. О. Обоснование технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов // Горные науки и технологии. 2021. № 6(2). С. 136-143. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-136-143
6. Tokarczyk J., Dudek M. Methods for computer aiding the configuration and assessment of auxiliary mine transportation means // Management Systems in Production Engineering. 2020. Vol.28. Is.4. P. 268-275.
7. Drwięga A., Polnik B., Kalita M. Innowacyjne urządzenia transportowe z elektrycznym napędem akumulatorowym // Maszyny Górnicze. 2015. No.3. P 36-44.
8. Pieczora E., Polnik B. Nowe rozwiązania napędów elektrycznych do górniczych maszyn transportowych // Cuprum: czasopismo naukowo-techniczne górnictwa rud. 2015. No.3. P. 199-210.
9. Herbuś K., Szewerda K., Świder J. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines // Eksploatacja i Niezawodność. 2020. Vol.22. No.4. P. 610-619.
10. Szewerda K., Tokarczyk J., Wieczorek A. Impact of Increased Travel Speed of a Transportation Set on the Dynamic Parameters of a Mine Suspended Monorail // Energies. 2021. Vol.14. No.6. P. 1-15.
11. Świder J. et al. Testing the Impact of Braking Algorithm Parameters on Acceleration and Braking Distance for a Suspended Monorail with Regard to Acceptable Travel Speed in Hard Coal Mines // Energies. 2021. Vol.14. No.21. P. 1-20.
12. Орлов А. И. Нечисловая статистика. М.: МЗ-Пресс, 2004. 513 с.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 813 с.
14. Ватутин Э. И., Титов В. С., Емельянов С. Г. Основы дискретной комбинаторной оптимизации. М.: Аргамак-Медиа, 2016. 270 с.
15. Пушкарев И. А. Структурная и функциональная модели теплового насоса // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2013. №4. С. 186-191.
16. Монорельсовый аккумуляторный рудничношахтовый локомотив «МАРШаЛ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://oaoex.ru/upload/docs/MARShaL.pdf – Загл. с экрана (дата обращения 02.11.2021).
17. Тутубалин П. И., Кирпичников А. П. Структурно-функциональная модель бортовой экспертной системы управления перспективного беспилотного летательного аппарата // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т.20. №20. С. 101-108.
18. Космодамианский А. С., Антипин Д. Я.,



ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Маслов М. А., Шевченко Д. Н. Применение объектной модели для конструирования тягового привода локомотива // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. №10(83). С. 39-47.

***K.A. Ryabko***
*Donetsk Institute of Railway Transport (Donetsk)*

## FUNCTIONAL MODEL OF OPERATION OF A MINES SUSPENDED MONORAIL LOCOMOTIVE ON STORAGE BATTERY TRACTION

***Background.*** *Currently more and more widespread use in the transport systems of mining enterprises is finding suspended monorail locomotives on battery traction. The efficiency of their functioning largely depends on the quality of the assessment, substantiation of the parameters and modes of operation of the traction means. It is advisable to evaluate these parameters according to the functional model of work. The development of the model will make it possible to determine the functional connections between the elements of the electric drive and the control system of the mine suspended monorail locomotive on battery traction.*
***Materials and/or methods.*** *Development of a functional model for the operation of a mine suspended monorail locomotive on battery traction, determination of its levels of detail, restrictions and grouping of the function of the elements. Determination of functional connections between the elements of the electric drive and the control system.*
*In order to develop a functional model for the operation of a mine suspended monorail locomotive on battery traction, an integrated approach, methods of applied mathematical statistics and the basics of combinatorial optimization are used.*
***Results****. In this article a functional model of the operation of a mine suspended monorail locomotive on battery traction has been developed, its optimal level and organization have been determined. Systems of constraints for the phase variables of the links of the developed functional model are obtained, on the basis of which it is possible to choose a solution that converts the objective function of the phase variable to a maximum or minimum.*
***Conclusion.*** *The developed model can be used in the study of functional connections between the elements of the electric drive and the control system. Unlike other models, the resulting model takes into account not only the technical, but also the cost indicators of the traction drive elements of the mine suspended monorail locomotive on battery traction.*

***Keywords:*** *mine suspended monorail locomotive, functional model, storage battery, electric drive, control system, links, input and output parameters.*

**Сведения об авторе**
**К.А. Рябко**
SPIN-код: 7192-6321
Author ID: 57203884218
ORCID iD: 0000-0003-4391-506X
Телефон: +380 (71) 307-73-15
Эл. почта: railroader@yandex.ru

*Статья поступила 29.08.2021 г.*
*© К.А. Рябко, 2021*
*Рецензент д.т.н., проф. В.О. Гутаревич*

УДК 622.647.1

**И.Б. Гуляева /к.т.н./, Е.С. Дубинка /к.т.н./, М.К. Маренич**
*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*
**Л.А. Муфель /к.т.н./, О.А. Демченко /к.т.н./**
*ГУ «Макеевский государственный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности» (Макеевка)*

# ПРОВОДИМОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ УЧАСТКА ШАХТЫ КАК ФАКТОР РИСКА ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Приведены аргументированные доказательства формирования электропоражающего фактора при эксплуатации шахтной участковой электрической сети вследствие заземления нестационарного электрооборудования через центральные провода (заземляющие жилы)гибких кабелей. Обоснована альтернативная концепция построения системы электроснабжения шахтной участковой электрической сети, в соответствии с которой исключается заземление центральных жил гибких кабелей и реализуется принцип селективности защитного отключения электропотребителей участка шахты на основе применения локальных средств контроля состояния изоляции силовых присоединений.*

***Ключевые слова:*** *рудничное электрооборудование, гибкий кабель, изоляция, проводимость, электропоражающий фактор, выявление, исследование, контроль, защитное отключение, селективность, локальные средства, система электроснабжения, альтернативная концепция.*

**Постановка проблемы**

Необходимость заземления металлических оболочек (корпусов) силового электрического и электромеханического оборудования участка шахты предопределила общую концепцию компоновки системы его электроснабжения. Согласно ей и учитывая нестационарность перемещаемых, переносных электромеханических объектов (комбайны, скребковые конвейеры, ручные электросвёрла и т.п.), заземление их электродвигателей осуществляется присоединением центрального провода кабеля электропитания к корпусу двигателя и заземлённому корпусу пускателя. При этом центральный провод кабеля выполняет функцию заземляющего проводника и, в соответствии с конструкцией кабеля (ГРШЭ; КГЭШ и т.п.) охватывается по всей своей длине экранами (из полупроводящей резины) силовых фазных проводов. Помимо реализации заземляющей функции, такая компоновка позволяет осуществить выявление повреждения изоляции кабеля как возникновение повышенной проводимости в цепи оперативного тока аппарата защитного отключения шахтной участковой трансформаторной подстанции по цепи: «фазный провод кабеля – полупроводящий экран – центральный (неизолированный) провод кабеля – земля». Однако, непосредственный контакт центрального провода кабеля с экранами изоляции фазных проводов по всей длине кабеля приводит к возникновению активных и ёмкостных проводимостей изоляции между фазами и землёй. И если активное сопротивление изоляции кабеля определяется её техническим состоянием, то ёмкость изоляции относится уже к паспортным характеристикам кабеля и определяется его сечением и длиной [1]. Применение на участке шахты совокупности гибких кабелей электропотребителей означает параллельное подключение (между собой) их активных сопротивлений и ёмкостей, т.е., существенное увеличение как активной, так и ёмкостной проводимости фаз на землю. Тенденция к применению кабелей большой протяжённости и сечения предопределяет ещё бóльшее увеличение этих проводимостей. Таким образом, именно изоляция кабельной сети участка шахты вследствие специфики размещения и применения центральных проводов гибких кабелей является фактором риска электропоражения человека (при касании к фазе сети, находящейся под напряжением).

Режим изолированной нейтрали трансформатора обеспечивает возможность применения в участковой электрической сети аппарата защиты от утечек тока на землю. Однако сама структура электрической сети предопределяет функционирование такого аппарата в условиях наличия факторов электропоражения и назначение функциональных узлов этого аппарата на «купирование» в той или иной степени факторов электропоражения, создаваемых и действующих в шахтной участковой электрической сети.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

**Анализ последних исследований и публикаций**

Анализ состояния вопроса, выполненный в исследовании [2], позволяет сделать вывод, что многолетний опыт разработки, эксплуатации и совершенствования аппаратов защиты от утечек тока на землю свидетельствует о неизменности практики реализации одних и тех же функций [3,4,5,6]:

– сравнение постоянного оперативного тока, подаваемого в контур «аппарат защиты - сеть - цепь утечки тока - земля - аппарат защиты» с т.н. «эталонным» током аппарата защиты и формирование команды на отключение автоматического выключателя трансформаторной подстанции участка при превышении оперативным током «эталонного»;

– статическая, либо автоматическая компенсация ёмкостного тока утечки с фазы сети на землю (применяется не во всех типах аппаратов защиты);

– выявление (в аппаратах защиты, предназначенных для работы в сетях линейного напряжения 1140 В) повреждённой фазы и её шунтирование через малое активное сопротивление на землю с одновременным блокированием такого шунтирования других фаз.

Эти функции реализовывались вне зависимости от схемных решений аппаратов защиты:

– схемы на дискретных электрических и электронных компонентах (АЗПБ; АЗУР-1; РУ-1140) [6];

– схемы на основе применения интегральных микросхем, аналоговой схемотехники (АЗУР-4) [7];

– схемы на основе применения микроконтроллеров (АЗУР-1М; АЗУР-4МК) [8].

Однако все технические решения, реализуемые в данных аппаратах защиты, строились и строятся применительно к общей концепции обустройства системы электроснабжения технологического участка шахты, где обязательным является заземление центральных проводов гибких экранированных кабелей, т.е., априори создаются проводимости между фазами сети и землёй, что представляет потенциальную угрозу электропоражения человека. В указанных аппаратах защиты их функции сводятся к воздействию (в сторону снижения) на эти проводимости, а также на ускорение «отделения» человека от воздействия электрического тока, проходящего по контуру: «трансформатор подстанции – человек – земля – проводимости изоляции – трансформатор подстанции».

Немаловажно, что вне зависимости от типов электрических и электронных устройств (элементов) в схемах аппаратов защиты их параметры быстродействия остаются на одном уровне. Так, собственное время срабатывания аппарата защиты любого из вышеперечисленных типов в сети линейного напряжения 660 В при сопротивлении утечки на землю 1 кОм и ёмкости изоляции в диапазоне 0÷1,0 мкФ/фазу составляет порядка 0,1 с (т.е. применение микропроцессора в схеме аппарата не приводит к повышению быстродействия формирования команды на защитное отключение). В сети линейного напряжения 1140 В это время составляет 0,07 с, а время шунтирования повреждённой фазы достигает 0,17 с. [8]. Кроме этого, выполнение защитной функции будет идти с дополнительной задержкой минимум 0,08 с, обусловленной временем собственного срабатывания автоматического выключателя А37ХХ трансформаторной подстанции. В течение этих интервалов времени аппарат защиты совместно с исполнительным силовым коммутационным устройством (автоматическим выключателем трансформаторной подстанции) не будут препятствовать действию электропоражающих факторов в участковой электрической сети.

С повышением мощностных показателей применяемого на участке шахты технологического оборудования увеличиваются электропоражающие параметры участковой электросети. Это, в свою очередь, предопределяет усложнение аппаратной части защиты от утечек тока на землю. Фактором, снижающим эффективность эксплуатации технологического оборудования участка шахты, следует также считать воздействие (защитное отключение) защиты от утечек тока на землю на всю электрическую сеть участка вне зависимости от конкретного силового присоединения, где возникла утечка тока на землю. Принципиальным положением здесь является то, что защита от утечек тока на землю не устраняет причину формирования электропоражающего фактора, а функционирует в условиях воздействия тока на человека, т.е. в условиях изначального существования и действия электропоражающего фактора, обусловленного компоновочными и техническими решениями, принятыми при формировании типовой структуры системы электроснабжения технологического участка шахты.

В то же время, исследования [9,10] дают основания полагать о возможности существенного ограничения электропоражающего фактора в шахтной участковой электрической сети в случае реализации альтернативных подходов к её компоновке, структуре применяемых кабелей и функциям их компонентов, что позволит суще-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

ственно изменить и упростить аппаратную часть защиты от утечек тока на землю, создать условия селективного действия такой защиты на участке шахты и этим, помимо улучшения условий эксплуатации по фактору электробезопасности, повысить эффективность эксплуатации самого технологического оборудования участка.

**Цель (задачи) исследования**

Целью исследования является обоснование структуры системы электроснабжения участвка шахты и её функциональных компонентов в контексте снижения параметров электропоражающего фактора и достижения избирательности действия защиты от утечек тока через проводимости изоляции фаз.

**Основной материал исследования**

Одними из основных компонентов системы электроснабжения технологического участка шахты является разветвлённая, радиальная сеть шахтных гибких экранированных кабелей (ГК1 – ГКn), осуществляющих передачу электрической энергии напряжения 660 В или 1140 В от трансформатора TV комплектной подстанции (КТП) участка через групповой автоматический выключатель (АВ2) и магнитные пускатели (МП1 – МПn) – на асинхронные двигатели (М1 – Mn) потребителей (рис. 1). Централизованную функцию контроля величины сопротивления изоляции электрической сети участка шахты и её защитного отключения выполняет аппарат защиты (АЗ) от утечек тока на землю, воздействующий на автоматический выключатель (АВ1) КТП. При этом, в соответствии со схемой, сопротивоения изоляции фаз (относительно земли) каждого присоединения подключаются параллельно друг другу включением соответствующих магнитных пускателей, что предопределяет снижение общего сопротивления изоляции по мере включения в работу всё бóльшего числа силовых присоединений (электропотребителей). В свою очередь, это предопределяет увеличение параметров электропоражающего фактора – тока через тедо человека ($R_{чел}$=$R_{УТ}$=1 кОм) при касании последним фазы сети.

Следует отметить, что сопротивления изоляции шахтных кабелей определяются особенностями взаимного расположения их силовых жил и центрального (заземляющего) провода (рис. 2), в результате чего создаются активные и ёмкостные проводимости изоляции как между фазными и центральным проводами, так и между смежными фазными проводами. При заземлении центральных проводов *n* кабелей электросети участка шахты фактор электропоражения человека (с сопротивлением тела $R_{УТ}$=1 кОм) при его касании к фазе сети будет формироваться в соответствии со схемой (рис. 3), где $R_{ф\text{-}ф}$; $X_{ф\text{-}ф}$ – соответственно, активные и ёмкостные сопротивления изоляции между фазами кабелей; $R_{ф\text{-}з}$, $X_{ф\text{-}з}$ – соответственно, активные и ёмкостные сопротивления изоляции между фазами и землёй при заземлении центральных проводов кабелей.

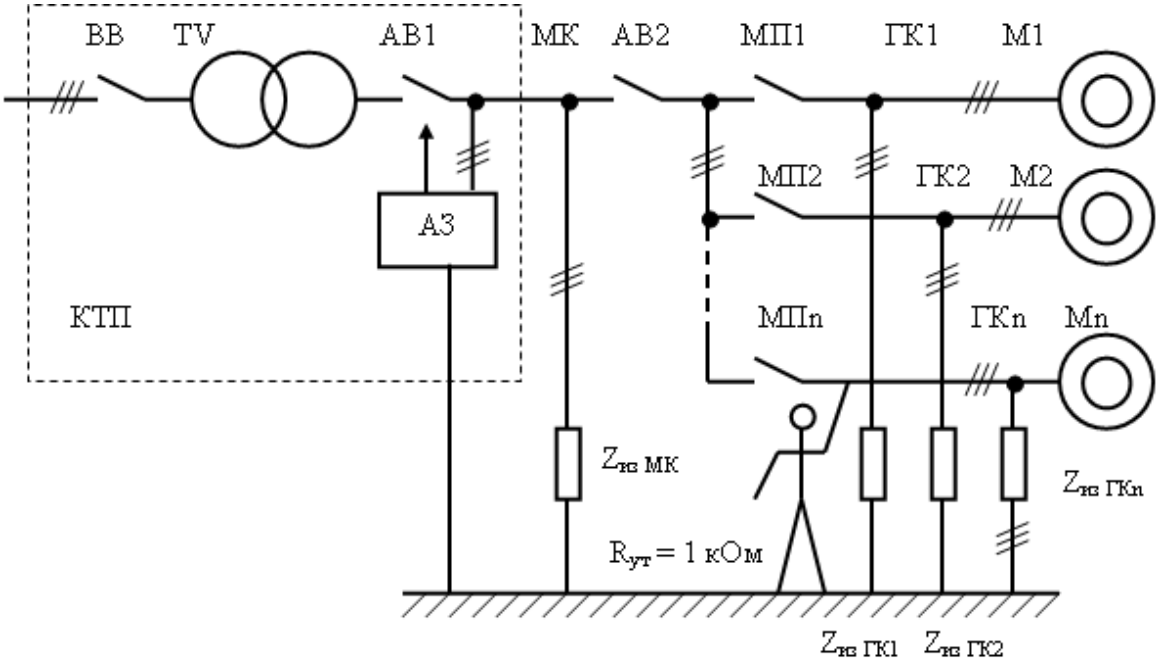



Рис. 1. Схема распределения комплексных проводимостей (Y=1/Z) изоляции в системе электроснабжения технологического участка шахты и формирования электропоражающего фактора


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

С учётом $n$ кабелей, подключенных к выходу ($u_A$; $u_B$; $u_C$) трансформатора участковой подстанции, общие активное и ёмкостное сопротивление изоляции между $k$-й комбинацией фаз ($k$=1; $k$=2; $k$=3) вследствие параллельности соединений будут описываться выражениями:

$$R_{ф\text{-}фΣк} = \frac{\prod_{i=1}^{n} R_{ф-фki}}{\sum_{i=1}^{n} R_{ф-фki}}, \quad (1)$$

$$X_{ф\text{-}фΣк} = \frac{1}{2\pi f \sum_{i=1}^{n} C_{ф-фki}}. \quad (2)$$

Общие активное и ёмкостное сопротиаления изоляции между $k$-й фазой ($k$=1; $k$=2; $k$=3) и землёй вследствие параллельности соединений будут описываться выражениями:

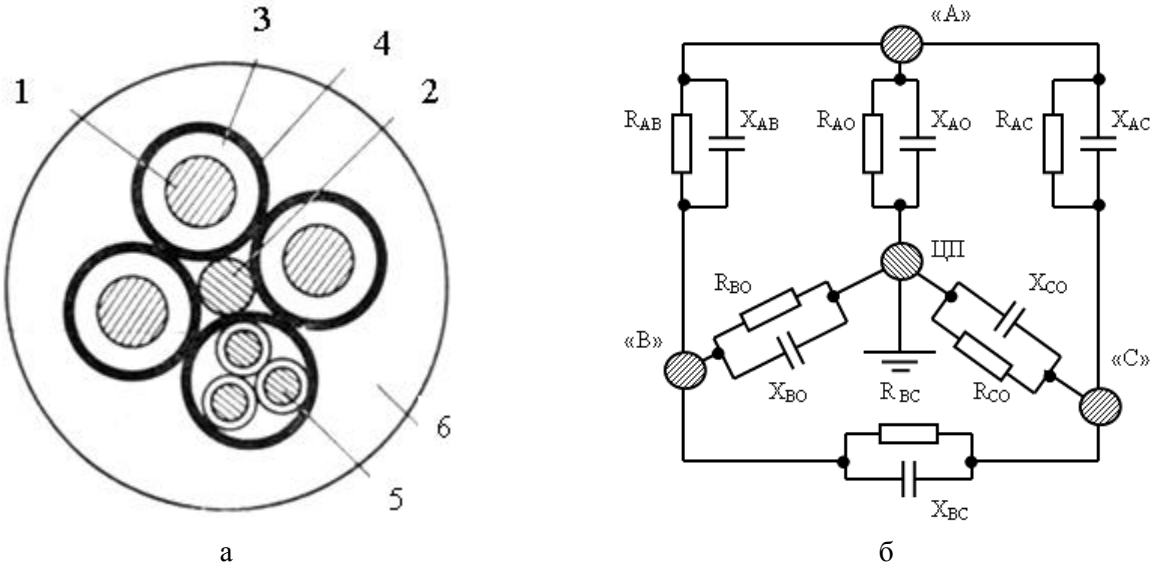
$$R_{ф\text{-}зΣк} = \frac{\prod_{i=1}^{n} R_{ф-зki}}{\sum_{i=1}^{n} R_{ф-зki}}, \quad (3)$$

$$X_{ф\text{-}зΣк} = \frac{1}{2\pi f \sum_{i=1}^{n} C_{ф-зki}}, \quad (4)$$

где $C_{ф\text{-}фki}$ – ёмкость изоляции между $k$-й комбинацией фаз $i$-го кабеля; $C_{ф\text{-}зki}$ – ёмкость изоляции между $k$-й фазой $i$-го кабеля и землёй (при заземлении центральных жил кабелей сети участка); $f$ – частота напряжения сети (Гц).

В свете исследования степени влияния проводимости изоляции кабелей на формирование электропоражающего фактора это даёт основание представить шахтную участковую электрическую сеть комбинацией активно-ёмкостной нагрузки трансформатора питающей подстанции, первая составляющая которой является междуфазными соединениями (присоединения к фазам по схеме «треугольник») $R_{ф\text{-}фkΣ}$; $C_{ф\text{-}фkΣ}$, а вторая – соединением в «звезду» цепей $R_{ф\text{-}зkΣ}$; $C_{ф\text{-}зkΣ}$ (рис. 4). Общая точка «0» схемы «звезда» представляет собой контур заземления центарльных жил кабелей сети участка. При этом прикосновение человека к фазе сети интерпретируется присоединением активного сопротивления $R_{УТ}$=1 кОм между фазой (точка «1») и точкой «0».

Таким образом, свойство трёхфазной электросети участка шахты состоит в том, что она образует параллельное подключение к фазам двух цепей активно-ёмкостных проводимостей, одна из которых представляет структуру «треугольник», а вторая – «звезду». При этом импеданс каждого линейного присоединения в схеме «треугольник» и каждого фазного присоединения в схеме «звезда» будет составлять, соответственно:




а б

Рис. 2. Схема взаиморасположения:
*а* – силовых жил 1 и центрального провода (ЦП) 2 гибкого экранированного шахтного кабеля (3 – резиновая изоляция; 4- резиновый электропроводящий экран; 5 – сигнальная жила; 6 – оболочка кабеля) и формирования
*б* – активных ($g$=1/$R$) и ёмкостных ($b$=1/$X$) проводимостей изоляции кабеля при заземлении центрального провода


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

$$Z_{ф-фΣк}=\frac{R_{ф\text{-}фΣк}}{\sqrt{1+(2\pi f\,C_{ф\text{-}фΣк}R_{ф-фΣк})^2}}, \quad (5)$$

$$Z_{ф-зΣк}=\frac{R_{ф\text{-}зΣк}}{\sqrt{1+(2\pi f\,C_{ф\text{-}зΣк}R_{ф-зΣк})^2}}, \quad (6)$$

где $k$=1; $k$=2; $k$=3.

В случае появления цепи утечки ($R_{УТ}$=1 кОм) тока с фазы на общую точку схемы «звезда» (что соответствует прикосновению человека к фазе сети при заземллённых центральных проводах кабелей), импеданс соответствующего фазного присоединения (по рис. 4) преобразуется к виду:

$$Z_{ф-зΣ1}=\frac{R_{ут}R_{ф\text{-}зΣ1}}{R_{ут}+R_{ф-зΣ1}}\times \times\left(\sqrt{1+\left(\frac{2\pi f\,R_{ут}R_{ф-зΣ1}C_{ф\text{-}зΣ1}}{(R_{ут}+R_{ф\text{-}зΣ1})}\right)^2}\right). \quad (7)$$

Полученные выражения позволяют выполнить анализ распределения токов в ветвях сети (схема по рис. 4), сформированных активно-ёмкостными проводимостями изоляции кабелей, включая степень влияния импедансов изоляции цепей «фаза – земля» на величину тока в цепи RYT, а также на величину тока в точке соединения в «звезду» активно-ёмкостных проводимостей, определяемых импедансами $Z_{ф\text{-}зkΣ}$ (при $k$=1; $k$=2; $k$=3).

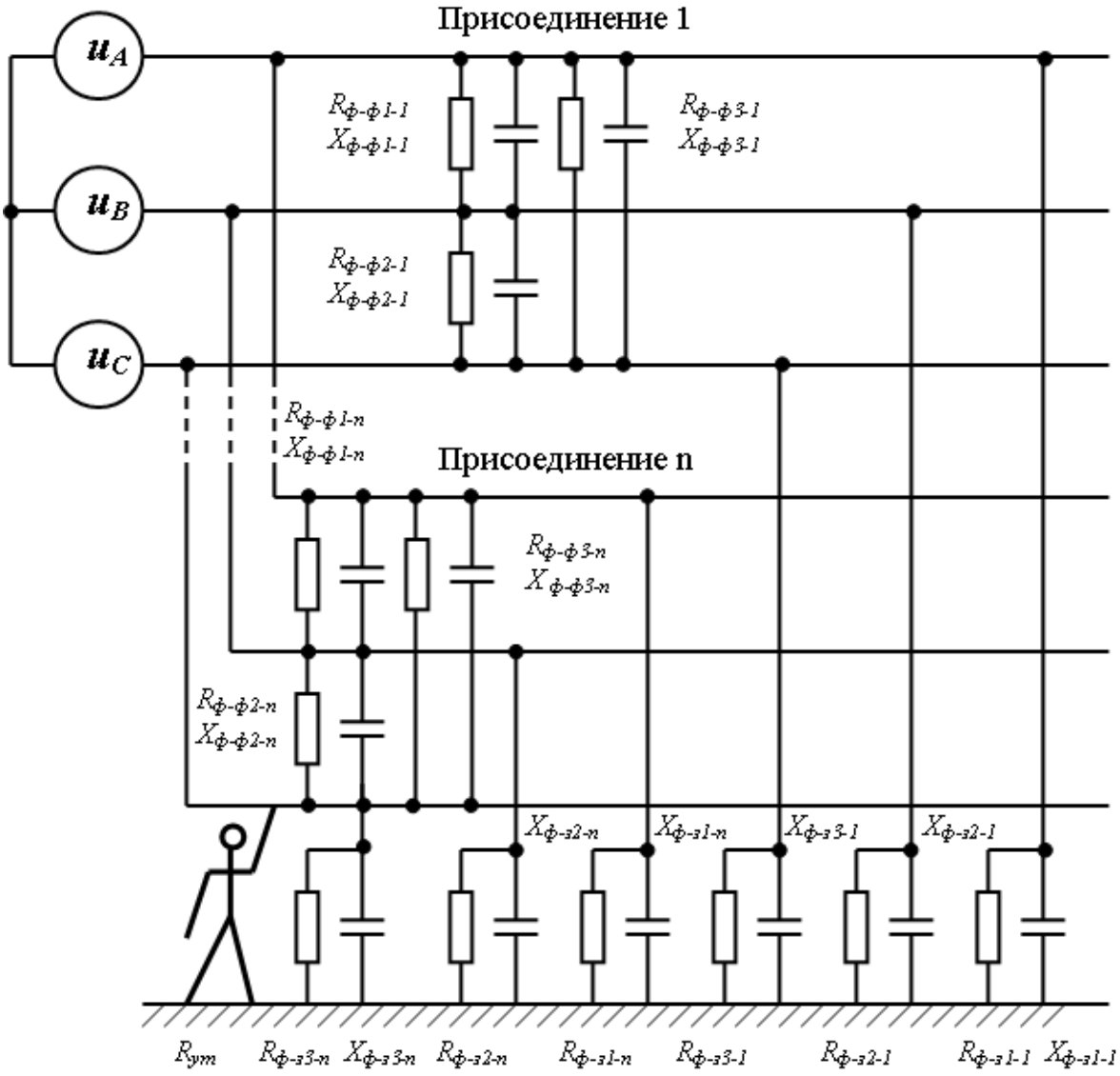



Рис. 3. Уточнённая схема формирования электропоражающего фактора в шахтной участковой электрической сети


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

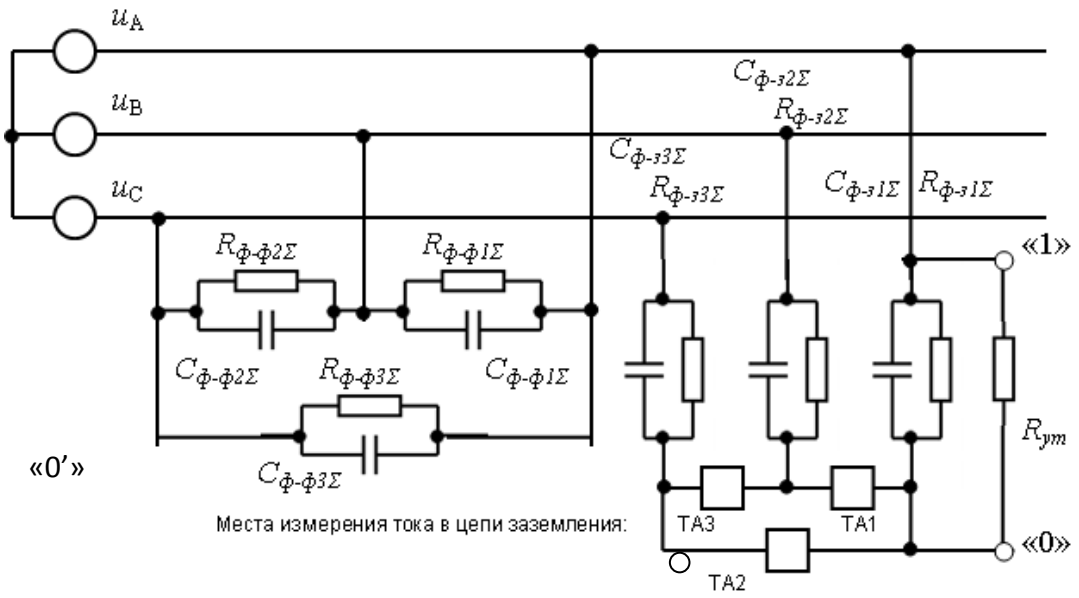



Рис. 4. Обобщённая схема распределения активных ($g$=1/$R$) и ёмкостных ($b$=1/$X$=2π$fC$) составляющих проводимости изоляции кабельной электрической сети участка шахты при условии заземления центральных проводов гибких кабелей

Специфика процесса состоит в том, что ток в цепи заземления протекает как между фазами цепи проводимостей изоляции в структуре гибкого кабеля (что на модели (рис. 4) выявляется датчиками тока ТА1; ТА2; ТА3 и представляется как ток в сосредоточенном участке схемы), так и в общей структуре системы электроснабжения, т.е.:

– в единичном кабеле – ток, протекающий по всей длине кабеля по линейным проводимостям изоляции между фазами (А-В; В-С; С-А);

– в структуре системы электроснабжения участка – ток между точками присоединения заземлителей отдельных объектов, меняющий свою величину и направление протекания стохастически в зависимости от включаемых в работу, либо отключаемых кабельных присоединений (рис. 5).

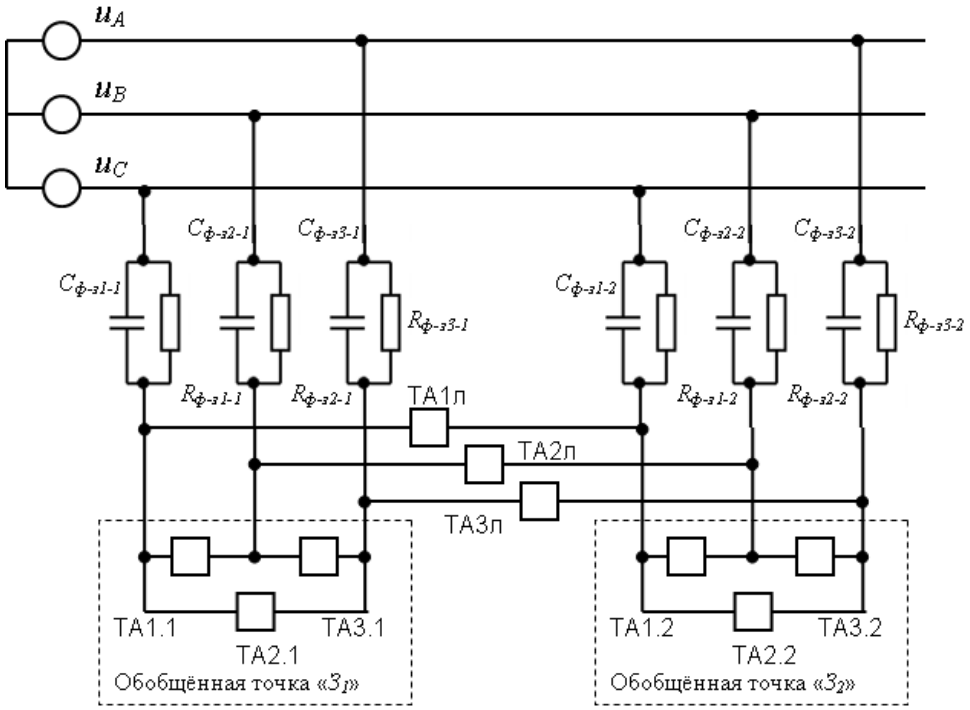



Рис. 5. Схема распределения тока, обусловленного активной и ёмкостной проводимостями изоляции кабелей в сети заземления технологического участка между обобщёнными точками заземления «$З_1$» и «$З_2$»


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

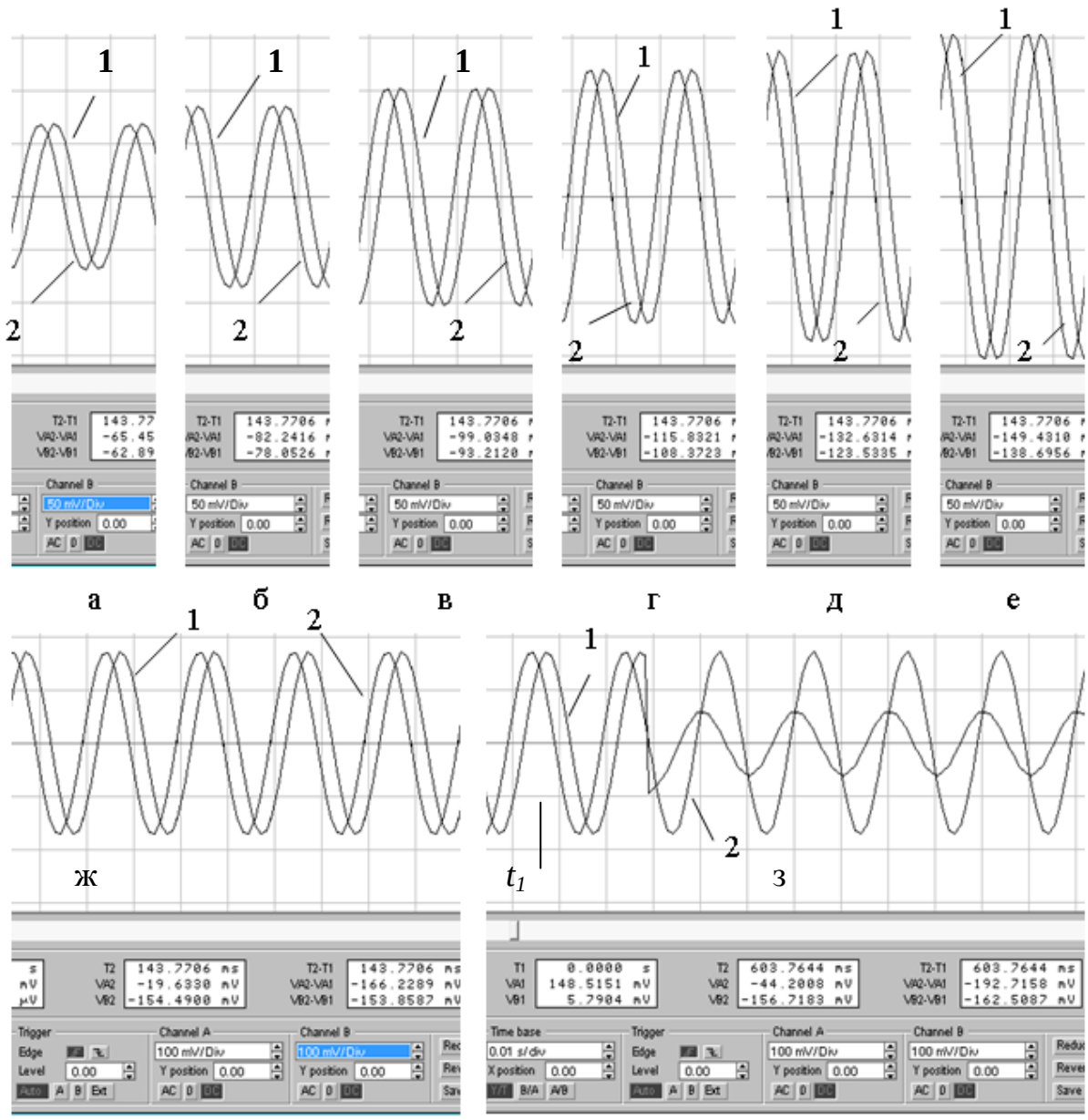



Рис. 6. Осциллограммы напряжений на датчиках с активным сопротивлением 1 Ом в цепях соединения в «звезду» проводимостей изоляции $R_{ф\text{-}з\,\Sigma}$; $C_{ф\text{-}з\Sigma}$ по рис. 4:
1 – напряжение на датчика ТА2 (перевёрнуто на $180^0$); 2 – напряжение на датчике ТА3;
$R_{ф\text{-}з\,\Sigma}$=150 кОм/фазу;
*а* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$ = 0,4 мкФ/фазу; *б* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$=0,5 мкФ/фазу; *в* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$=0,64 мкФ/фазу; *г* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$=0,7 мкФ/фазу;
*д* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$ = 0,8 мкФ/фазу; *е* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$ = 0,9 мкФ/фазу (масштаб напряжений 50 мВ/деление);
*ж, з* – $C_{ф\text{-}з\Sigma}$ = 0,9 мкФ/фазу (масштаб напряжений 100 мВ/деление);
*ж* – в момент $t_1$ к точкам «0'» – «1» (рис. 4) присоединено активное сопротивление утечки $R_{ут}$=1 кОм. Линейное напряжение сети 1140 В

Осциллограммы токов в цепи заземления (рис. 6) – между фазными проводимостями изоляции (цепи датчиков ТА3; ТА2 по рис. 4) и токов в цепях импедансов изоляции (фаза – заземлённый центральный провод кабеля по рис.7), а также токов в цепи утечки ($R_{УТ}$=1 кОм) раскрывают:

– зависимость токов в цепях изоляции кабеля и в сети заземления от ёмкости изоляции кабеля;

– зависимость тока и величины количества электричества в цепи однофазной утечки на землю ($R_{УТ}$=1 кОм) от величины ёмкости изоляции кабелей, что позволяет сделать вывод о существенном влиянии ёмкости изоляции кабелей как на величину тока в цепи $R_{УТ}$, так и на величину тока в сети заземления.

В частности, на диаграммах рис. 7в и рис. 7д моментом времени $t_1$ отмечен интервал времени


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

в 0,17 с. протекания тока утечки через человека, что соответствует продолжительности отработки отделения от сети энергетического потока питающей трансформаторной подстанции методом шунтирования повреждённой фазы на землю через сопротивление малой величины [8] в процессе отключения сети. Однако представленная на этих диаграммах зависимость количества электричества ($q$) через тело человека от ёмкости изоляции сети ($C_{из}$) свидетельствует о наличии неблагоприятных условий электропоражения. Так, в сети линейного напряжения 660 В при $C_{из}$≥0,8 мкФ /фазу параметр $q$>37 мА·с, что соспоставимо с предельно допустимым [9] $q$=50 мА·с. В сети линейного напряжения 1140 В параметр $q$>50 мА·с при $C_{из}$>0,6 мкФ/фазу. При этом не учитывается последующее увеличение параметра q вследствие действия обратных ЭДС асинхронных двигателей потребителей, переходящих в режим выбега.

В этом случае представляется уместной хотя бы частичная компенсация ёмкостных токов утечки индуктивностями. Однако указанная функция входит в «техническое противоречие» с функцией выявления повреждённой фазы с целью последующего её шунтирования на землю, реализуемой в аппаратах защиты от утечек тока на землю последних разработок, предназначенных для работы в сетях линейного напряжения 1140 В.

Так, согласно [10] способ быстродействующего выявления утечки тока на землю реализован на основе контроля смещения фазовых параметров сети, что возможно при отсутствии компенсации ёмкостных токов и призвано компенсировать эффект компенсации ёмкостных токов утечки повышенным быстродействием отделения от сети энергетического потока трансформаторной подстанции. В исследовании [10] утверждается, что именно отсутствие компенсации ёмкостных токов позволяет без искажений и с достаточной точностью анализировать естественное протекание процессов в сети.

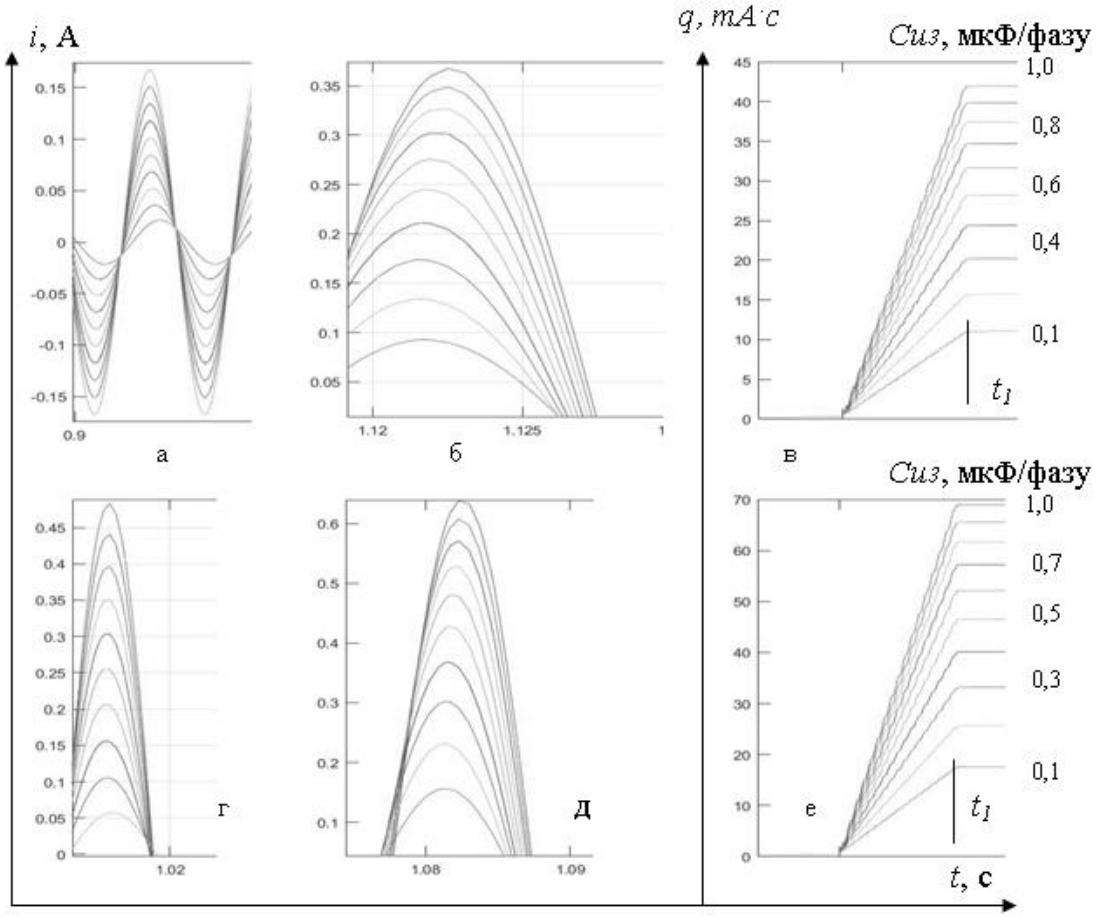



Рис. 7. Осциллограммы токов (а, б, г, д) и количества электричества (в, е) в цепи утечки тока на землю ($R_{ут}$=1 кОм) в зависимости от емкости изоляции сети в диапазоне от $C_{из}$=0,1 мкФ/фазу (нижние кривые) до 1,0 мкФ/фазу (верхние кривые) с шагом в 0,1 мкФ/фазу:
*а, б, в* – линейное напряжение сети – 660 В; *г, д, е* – линейное напряжением сети – 1140 В;
*а, г* – синусоиды тока в цепи изоляции между фазой и землёй;
*б, д* – синусоиды тока в цепи утечки тока на землю


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

При этом полезная информация извлекается относительно нулевых переходов электрических параметров сети, что даёт основание полагать о возможности предотвращения ошибок распознавания малых изменений амплитудных параметров за ограниченное время. Будучи реализованным в серии аппаратов АЗУР-МК, этот принцип предполагает создание искусственной нулевой точки сети, измерение напряжения между этой точкой и землёй, программный опрос входных сигналов и контроль начальных углов смещения напряжения нейтрали сети относительно фаз путём определения интервалов между переходами сигналов через нуль. При этом в случае последовательного совпадения двух и более событий, вырабатываются соответствующие выходные логические сигналы, относящиеся к фазам сети, высокий логический уровень одного из которых будет указывать на повреждение изоляции (наличие утечки тока на землю) соответствующей фазы.

Объективно, сложность этого алгоритма и ограниченное (исходя из критериев электробезопасности) время его выполнения предопределяют ряд негативных моментов:

– сложность схемного решения обусловливает снижение надёжности реализующего устройства;

– возможность ошибочного выявления «повреждённой фазы» (смещение фазовых параметров токов и напряжений в трёхфазной промышленой сети, оснащённой активно-индуктивной нагрузкой возможно не только вледствие возникновения повышенной проводимости фазы на землю) предопределит шунтирование на землю неповреждённой фазы и создание, в связи с этим, предельно опасного условия электропоражения человека при его касании к фазе сети.

Кроме этого, быстродействие данной защитной функции не может считаться достаточным в контексте ограничения количества электричества $q$ через человека (вывод основан на результатах исследования, приведенных на рис. 7в, рис. 7д).

Из приведенного анализа следует:

вызвать искрение в местах случайного разъединения проводников цепи заземления, т.е., превысить минимальные воспламеняющие токи, определяемые ГОСТ 30852.10-2002; ГОСТ Р МЭК 60079-11 – 2010 [11, 12];

– режим изолированной нейтрали трансформатора не обеспечивает достаточный уровень безопасности шахтной участковой электрической сети по критерию электропоражения в условиях подключения центральных проводов шахтных гибких кабелей к заземлениям, что фактически делает шахтную участковую электрическую сеть, функционирующую в режиме изолированной от земли нейтрали трансформатора, гальванически связанной пофазно с сетью заземления;

– существующие подходы к обустройству шахтных участковых электрических сетей изначально предполагают формирование в них электропоражающего фактора методом заземления передвижного (переносного) электрооборудования подключением к его корпусам и заземлённым корпусам магнитных пускателей центральных проводов гибких кабелей, гальванически связанных с проводящими экранами их силовых жил. В этом случае функции защиты человека от электропоражения сводятся не к устранению электропоражающего фактора, а к ускорению обесточивания человека в условиях постоянно действующего электропоражающего фактора, созданного вследствие заземления центральных проводов гибких кабелей.

Учитывая это и в связи с невозможностью исключения вероятности соприкосновения человека с корпусом асинхронного двигателя электропотребителя, находящимся в контакте (вследствие повреждения изоляции) с фазой сети, представляется целесообразным принципиальное изменение самой концепции построения с- обязательное [9], присоединение центральных проводов гибких кабелей в сети заземления системы электроснабжения участка шахты априори создаёт цепи проводимости с параметрами, представляющими опасность поражения человека электрическим током, а также обусловливает формирование токов в заземляющей сети участка шахты, сопоставимых по величине с токами, способными истемы электроснабжения участка шахты, где за основу должен быть взят принцип изначального исключения электропоражающего фактора. В связи с этим, рассмотрению подлежит вопрос реализации технического решения в области выявления касания фазным проводником сети корпуса асинхронного двигателя электропотребителя без заземления последнего и исключения, в связи с этим, необходимости заземлять центральный провод подводящего гибкого кабеля.

За основу здесь может быть взят способ выявления замыкания на землю фазы сети, основанный на подключении между землёй и «звездой» обмоток статора асинхронного двигателя VD-R-VD – цепи, т.е., соединённых последовательно диода (элемента, создающего цепь постоянного тока), резистора (элемента формирования информационного сигнала) и стабилитрона (включенного в обратном направлении по-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

следовательно с диодом и создающего совместно с ним эффект поддержания режима изолированной нейтрали сети [13]. При этом, стабилитрон отпирается в обратном направлении в случае появления контакта по цепи «фаза- земля». Аналогичный эффект будет иметь место, если VD-R-VD – цепь соединить не с заземлением, а с корпусом электродвигателя и при этом производить контроль появления электрического контакта фазы сети на корпус двигателя.

Развитием этого технического решения является использование R-C-VD – цепи для выявления контакта фазы с землёй в соответствии с [14]. Здесь эффект отделения нейтрали сети от земли выполняет конденсатор. Применительно к решению задачи выявления контакта в цепи «фаза – корпус асинхронного двигателя» не усматривается технических противоречий, если указанную измерительную R-C-VD – цепь присоединить меджу «звездой» обмоток статора асинхронного двигателя и его корпусом (рис. 8). При этом, последовательно в цепь может быть введено исполнительное реле К1, размыукающий контакт К1.1 которого может быть задействован в цепи управления контактором магнитного пускателя.

В этом случае переходное сопротивление $R_п$ между корпусом двигателя и землёй может быть не регламентировано, т.к. контролироваться будет эффект появления электрического контакта между фазой сети и корпусом двигателя. Представляется важным отметить, что отсутствие такого контакта является нормальным режимом эксплуатации электрооборудования, не сопровождается формированием электропоражающего фактора и не требует выполнения предварительных функций, сопоставимых с заземлением корпусов асинхронных двигателей (в условиях шахты – через центрадьные провода кабелей).

На рис. 9 представлены осциллограммы (результаты компьютерного моделирования) напряжений на резисторе R1 (рис. 8) сопротивления 1 кОм (ёмкость конденсатора С1 – 500 мкФ). Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

– при одинаковых импедансах изоляции между фазами сети и корпусом двигателя и отсутствии контакта в цепи «фаза – корпус» ток в измерительной R-C-VD – цепи отсутствует, что соответствует нормальному режиму работы электрооборудования;

– при появлении контакта (нулевого сопротивления) между фазой и корпусом двигателя, либо между фазой и землёй (в предположении, что $R_п$=0) амплитуда информационного сигнала составляет: в сети линейного напряжения 660 В – 607 В (рис. 9а), в сети линейного напряжения 1140 В – 1000 В (рис. 9б), что достаточно для формирования команды на отключение контактора магнитного пускателя (срабатывание реле К1) и существенно выше параметров напряжения на резисторе R1 (78 В), зафиксированных при существенной разности импедансов изоляции между фазами сети и землёй (в предположении, что $R_п$=0), в соответствии с рис. 9г.

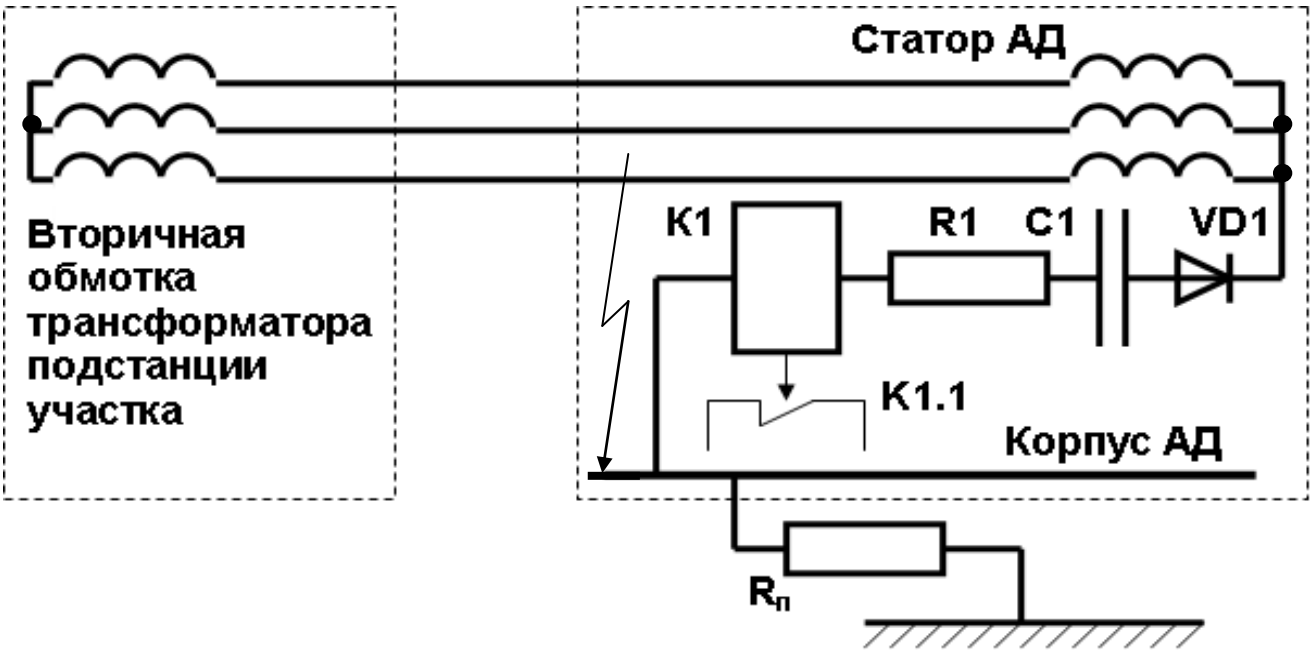



Рис. 8. Схема, иллюстрирующая концепцию выявления пробоя изоляции фазы на корпус электродвигателя (потенциально – снижения сопротивления между фазой и землёй) в структуре электротехнического комплекса участка шахты


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

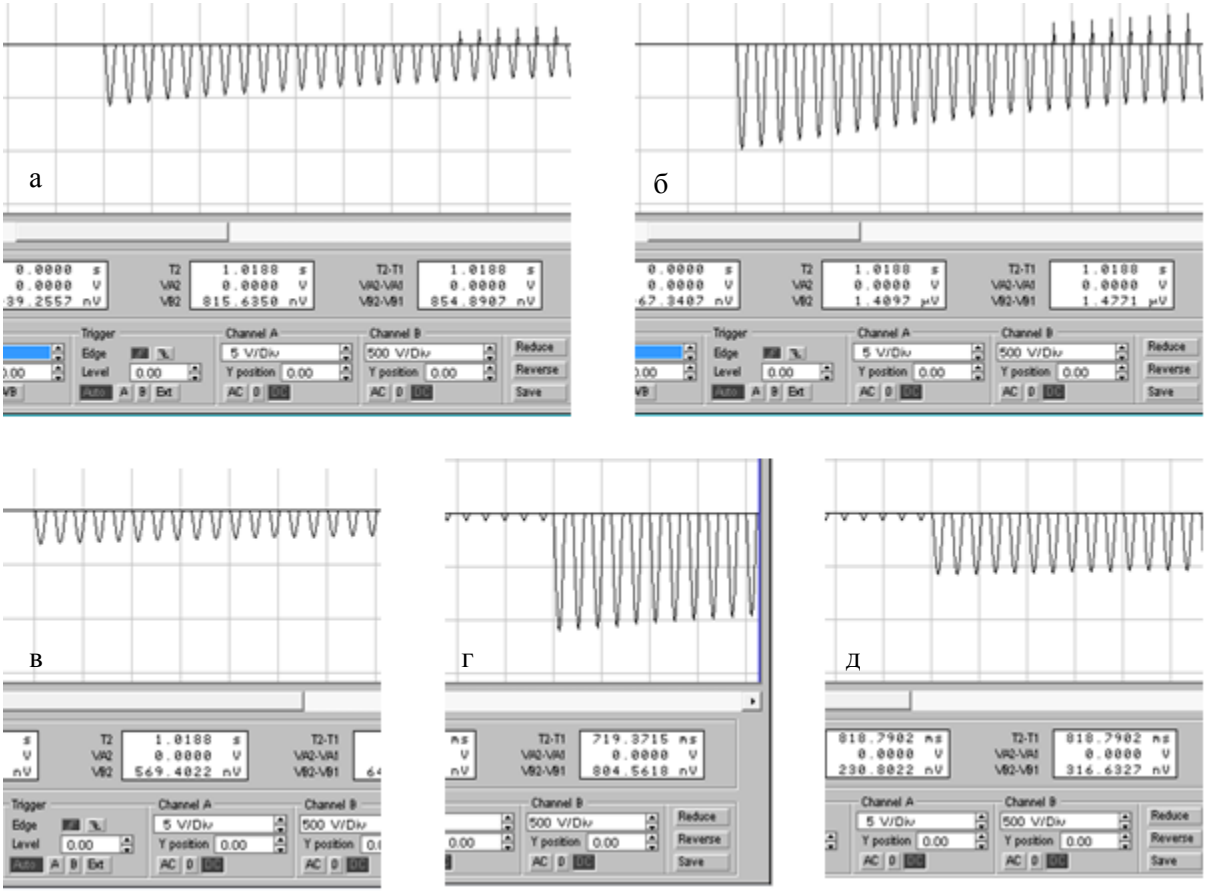



Рис. 9. Осциллограммы напряжений на резисторе R1 устройства выявления соединения фазы на корпус асинхронного двигателя (по рис. 8):
*а, в* – линейное напряжение сети 660 В; *б, г, д* – линейное напряжение сети1140 В;
*а, б, в* – импедансы изоляции кабеля между 1-й, 2-й, 3-й фазами и землёй одинаковы;
*а, б, г* – непосредственное соединение фазы с корпусом двигателя; *в, д* – соединение «фаза – земля – корпус двигателя» через активное сопротивление $R_{ут}$=1 кОм;
*г, д* – параметры импедансов изоляции цепей «фаза – корпус двигателя»:
1-я фаза: $R_{ф-з}$=100 кОм; $C_{ф-з}$=0,2 мкФ; 2-я фаза: $R_{ф-з}$=120 кОм; $C_{ф-з}$=0,5 мкФ;
3-я фаза: $R_{ф-з}$=60 кОм; $C_{ф-з}$=0,3 мкФ; масштаб напряжения 500 В/деление

При условии $R_n$>0 влияние этих импедансов изоляции на формирование информационного сигнала (напряжения) на резисторе R1 измерительной R-C-VD – цепи будет ещё более низким;

– схема (рис. 8) позволяет выявить касание человеком ($R_{чел}$=$R_{УТ}$=1 кОм) одновременно фазы сети и корпуса электродвигателя, либо земли при условии $R_n$≈0, что иллюстрируется рис. 9д, в том числе, в случае неодинаковости импедансов изоляции кабеля относительно земли. При этом схема может быть настроена таким образом, чтобы реагировать на контакт человека к фазе и земле при $R_n$>0. В случае если $R_n$>>0, эффект прикосновения человека к фазе сети и одновременно к земле не будет сопровождаться электропоражающим фактором ввиду снижения тока через тело человека до безопасной величины.

Данное техническое решение позволяет отказаться от использования центральных проводов шахтных гибких кабелей в качестве заземляющих проводников (заземляющих жил) и использовать их в качестве обособленных проводников, в частности, для выявления повышенной проводимости изоляции силовой жилы кабеля.

Эта схема может быть применена и в структуре силового коммутационного аппарата (например, магнитного пускателя), что позволит выявить контакт фазы на его корпус. При этом, представляется рациональным применить дополнительное защитное изолирование внутренних поверхностей отсеков корпусов рудничного силового электрооборудования (покрытием поверхностей защитной изоляцией), прежде всего, в местах потенциально возможного контакта фазы с корпусом вследствие повреждения имзоляции.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

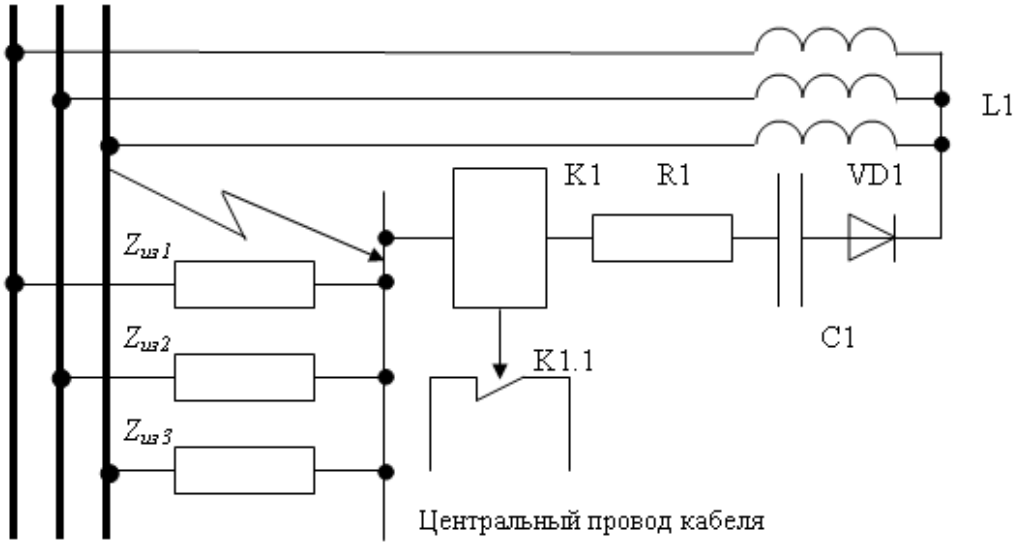



Рис. 10. Схема, иллюстрирующая процесс выявления повреждение изоляции кабеля, находящегося под напряжением, техническими средствами, вводимыми в структуру магнитного пускателя

Аналогично техническому решению [2], процесс формирования информационного сигнала может быть осуществлён путём подключения R-C-VD – цепи между центральным проводом кабеля и нулевой точкой трёхфазной L-цепи присоединения к фазам сети на выходе магнитного пускателя (рис. 10). Аналогично схеме (рис. 8) контакт фазы с обособленным (центральным) проводом будет выявлен формированием напряжения на резисторе R1, что при последовательном подключении к нему реле К1 приведёт к его срабатыванию и обесточиванию контактом К1.1 цепи дистанционного управления контактором магнитного пускателя.

Таким образом, совместное применение схем по рис.8 и рис.10 позволяет;

– отказаться от концепции обязательного заземления центральных проводов шахтных гибких кабелей в системе электроснабжения учпастка шахты;

– предотвратить появление электропоражающего фактора в системе электроснабжения учпастка шахты; обусловленного заземлением центральных проводов гибких кабелей;

– обеспечить защитное отключение магнитного пускателя при возникновении электрического контакта меэжду фазой и корпусом присоединённого асинхронного двигателя и при снижении сопротивления изоляци силовой жилы в кабеле присоединения магнитного пускателя;

– обеспечить селективность контроля (на основе применения локальных технических средств) состояния изоляции кабелей включенных в работу электропотербителей участка шахты и, соответственно, селектьивность защитного отключения их от сети.

**Выводы**

Установлено, что существенное влияние на уровень электропоражающего фактора в шахтной участковой электрической сети оказывает ёмкость изоляции, образуемая между фазными жилами гибких кабелей и их центральными проводами при подключении последних к цепи заземления. При этом ток в цепи заземления может достигать уровней, сопоставимых с величинами предельно допустимыми по критерию искробезопасности.

В условиях подключения центральных проводов шахтных гибких кабелей к заземлениям режим изолированной нейтрали трансформатора не является достаточным в контексте обеспечения электробезопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети.

Обособление центральных проводов гибких кабелей (исключение использования их в качестве заземляющих проводников) и использование их совместно с R-C-VD – цепями контроля в структуре магнитных пускателей является техническим решением, позволяющим выявить повреждение изоляции кабеля отходящего от пускателя, реализовать селективный контроль состояния изоляции кабелей и селективность защитного отключения электропотребителей при существенном снижении импеданса изоляции силовых фазных проводов кабеля относительно


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

земли. Неиспользование центральных проводов гибких кабелей в качестве заземляющих позволит предотвратить появление электропоражающего фактора (либо существенно ограничить его уровень) в системе электроснабжения учпастка шахты; обусловленного импедансами изоляции между фазами сети и землёй

Подключения R-C-VD – цепей контроля между «звездой» обмоток статора асинхронного двигателя электропотребителя и его корпусом позволяет эффективно выявить электрическое соединение фазы сети с корпусом этого двигателя, а также прикосновение человека к фазе сети и корпусу двигателя (сформировать команду на защитное отключение сети), что позволяет исключить необходимость заземелния двигателя через подключение к заземелнию центрального провода подводящего кабеля.

**Список литературы**


1. Справочник энергетика угольной шахты: в 2 т. / [Дзюбан В.С., Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.]; под ред. Б.Н. Ванеева. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2001. – Т.1.: (Гл.1-21). – 477 с.; Т.2.: (Гл.22-44). – 440 с.
2. Управление коммутацией цепи нейтрали вторичной обмотки трансформатора подстанции как способ повышения эффективности защитного отключения сети / И.Б. Гуляева, М.К. Маренич // Вестник Донецкого национального технического университета. – Донецк, ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – Вып. 2(24). – С. 9-16.
3. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях / В.С. Дзюбан. – М.: Недра, 1982. –152 с.
4. Ягудаев Б.М. Защита от электропоражения в горной промышленности / Б.М. Ягудаев, Н.Ф. Шишкин, В.В. Назаров. – М.: Недра, 1982. – 152 с.
5. Вареник Є.О. Обмеження та захист від витоків струму у рудникових електроустановках напругою 1200 В: дис. … канд. техн. наук: 05.09.03 / Вареник Євген Олександрович. – Днепропетровск, 2004. – 91 с.
6. Белошистов А.И. Модернизация аппаратов защиты от токов утечки АЗУР-1 / А.И. Белошистов, А.В. Савицкий, В.Н. Савицкий // Взрывозащищённое электрооборудование №1(52) ГУ НИИВЭ, Донецк, 2017. – С. 45-57.
7. Устройство и принцип работы АЗУР-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sinref.ru/000_uchebniki/01791shahtnoe_oborudov/084_apparat_zashiti_tokov_utechki_azur_4/004.htm. – Загл с экрана.
8. Апарат защиты от токов утечки унифицированный рудничный АЗУР-4МК. Руководство по эксплуатации / ИТЭП 28648513.004.РЭ.- Донецк, 2013.- 28 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: url: https://itep.com.ua. – Загл. с экрана.
9. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929-78. С изменениями согласно ИУС 11-80, 7-81, 11-83. Соответствует СТ СЭВ 2309-80. – [Вступил в силу 01.01.79]. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 13 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Савицкий А.В. Новая серия микроконтроллерных аппаратов защиты от токов утечки на землю в шахтных распределительных сетях напряжением до 1200 В / А.В. Савицкий Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електроенергетика» № 2(15)’2013. – Донецк. ДонНТУ. – С. 211-216.
11. Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь. Electrical apparatus for explosive atmospheres. Part 11. Intrinsic safety. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30852.10-2002 (МЭК 60079-11:1999). МКС 29.260.20 Дата введения 2014-02-15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/ document/ 1200103397?marker=7D20K3. – Загл. с экрана.
12. Взрывоопасные среды. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i». IEC 60079-11:2011 Explosive atmospheres — Part 11: Equipment protection by intrinsic safety «i» (IDT). ГОСТ Р МЭК 60079-11 – 2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2010-11-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru /Data2/1/4293801/4293801459.pdf. – Загл. с экрана.
13. Патент на винахід 95757 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/10; H02H 7/08 Пристрій захисту від впливу зворотного асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, І.О. Лагута, С.В. Василець. – a 2010 13816. Заявл. 22.11.2010. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16. – 4 с.
14. Патент на винахід 103934 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/02; H02H 3/10 Пристрій захисту від впливу зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, І.О. Лагута. – a 2012 01369. Заявл. 09.02.2012. Опубл. 10.12.2013. Бюл. №23. – 5 с.



ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

**I.B. Guliaeva /Cand. Sci. (Eng.)/, Ye.S. Dubinka / Cand. Sci. (Eng.)/, M.K. Marenich**
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*
**L.A. Mufel /Cand. Sci. (Eng.)/, O.A.Demchenko /Cand. Sci. (Eng.)/**
*State Makeevka Safety in Mines Research Institute (Makeevka)*

## CONDUCTIVITY OF INSULATION OF THE ELECTRIC NETWORK OF THE MINES AS A RISK FACTOR OF ELECTRIC INJURY. PROBLEM ISSUES AND WAYS OF THEIR SOLUTION

***Background.*** *Grounding of non-stationary electrical equipment of mine sections by connecting flexible cables to the grounding circuit of the central wires leads to the appearance of high levels of capacitive currents, which predetermines the risk of electrocution of a person when he touches the network phase. Scientific and practical relevance is represented by research that allows you to preserve the protective functions of electrical equipment, provided that the central wires of mine flexible cables are used separately, including their non-connection to the ground circuit*
***Materials and/or methods.*** *Based on the specifics of the layout and operation of the mine flexible cable in the structure of the electric network of the mine site, the effect of creating an electro-damaging factor due to the connection of the central wires of the cables to the grounding circuit is investigated. An alternative technical solution has been proposed that makes it possible to control the phase contact on the motor housing and the insulation resistance of the phase conductors of the cables, eliminating the need for grounding of the electric motor casings.*
***Results.*** *It has been established that the insulation capacity formed between the phase conductors of flexible cables and their central wires when the latter is connected to the grounding circuit has a significant effect on the level of the electro-striking factor in the mine local electrical network. The isolation of the central wires of flexible cables and their use in conjunction with R-C-VD - control circuits in the structure of magnetic starters makes it possible to detect damage to the cable insulation, to realize the selectivity of protective shutdown of electrical consumers with a significant decrease in the insulation impedance of the power phase wires relative to the ground. Failure to use the central wires of flexible cables as grounding ones will prevent the appearance of an electrostatic factor in the power supply system of the mine site; due to the impedances of insulation between the phases of the network and earth Connections RC-VD - control circuits between the "star" of the stator windings of an asynchronous motor of an electrical consumer and its case allows you to effectively identify the electrical connection of the mains phase with the case of this motor, as well as a person's touch to the mains phase and the motor case (generate a command for a protective mains disconnection), which eliminates the need for grounding the motor through the connection to the grounding of the central wire of the supply cable.*
***Conclusion.*** *Provided substantiated evidence of the formation of an electro-striking factor during the operation of a mine local electrical network due to grounding of non-stationary electrical equipment through the central wires of flexible cables. An alternative concept for the construction of a power supply system for a mine sectional electrical network has been substantiated, in accordance with which grounding of the central cores of flexible cables is excluded and the principle of selectivity of protective shutdown of electric consumers of a mine section is implemented on the basis of the use of local means of monitoring the state of insulation of power connections.*

***Keywords:*** *mine electrical equipment, flexible cable, insulation, conductivity, shock factor, detection, research, control, safety shutdown, selectivity, local means, power supply system, alternative concept.*

**Сведения об авторах**

**И.Б. Гуляева**
Телефон: +380 (71) 332-75-75
Эл. почта: iraguliaeva@gmail.com

**Е.С. Дубинка**
Телефон: +380 (71) 302-74-94
Эл. почта: ekaterina_sd@bk.ru

**М.К. Маренич**
Телефон: +380 (71) 328-05-79
Эл. почта: marenichmk@gmail.com

**Л.А. Муфель**
Телефон: +380 (71) 475-08-99
Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

**О.А. Демченко**
Телефон: +380 (71) 373-92-58
Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

*Статья поступила 16.09.2021 г.*
*© И.Б. Гуляева, Е.С. Дубинка, М.К. Маренич, Л.А. Муфель, О.А. Демченко, 2021*
*Рецензент д.т.н., проф. А.П. Ковалёв*

УДК 544.463:532.612:631.4

**С.Л. Хилько /к.х.н./, Р.А. Макарова /к.х.н./, Р.Г. Семенова /к.х.н./**
*ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (Донецк)*

# ТВЕРДОФАЗНОЕ ЭТОКСИЛИРОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ

*Методом механохимического твердофазного синтеза в вибрационном аппарате впервые получены этоксилированные производные бензойной кислоты и ее хлор- и нитрозамещенных. Процесс этоксилирования осуществляли при взаимодействии бензойных кислот с полиэтиленгликолем ПЭГ-6000. Продукты реакции охарактеризованы методом ИК-спектроскопии. Установлено, что этоксилирование бензойных кислот осуществляется по карбоксильным группам. Степень превращения исходных кислот в продукты реакции зависит от времени механоактивации.*

***Ключевые слова:*** *бензойная кислота, орто-хлорбензойная кислота, орто-нитробензойная кислота, полиэтиленгликоль (ПЭГ-6000), механохимические твердофазные реакции, ИК-спектроскопия.*

**Постановка проблемы**

В настоящее время во всем мире значительно возрос интерес к проведению твердофазных химических реакций при действии на реакционную смесь механических сил [1…5]. Это связано с тем, что механохимический способ проведения реакций значительно проще, дешевле, а в ряде случаев эффективнее, чем реализация реакций в растворе, поскольку такие процессы не связаны с использованием растворителей, катализаторов, реакции проводят при комнатной температуре и при значительном сокращении времени реагирования [6…11]. Это перспективно для технологии получения лекарственных форм, поверхностно-активных веществ, сорбентов, редокс-полимеров и др.

Ответной реакцией твердых тел на действие механических сил является деформация, которая зависит от типа твердого тела и характера механического нагружения и которая вызывает изменения структуры вещества. Существенные изменения структуры твердых тел влияют на их реакционную способность [12]. Характер механохимических процессов определяется соотношением между скоростью поглощения упругой механической энергии и скоростью механохимической реакции [13]. На основании этого соотношения разделяют процессы механохимической активации твердых тел без химических реакций (например, механохимическая активация твердых катализаторов) и реакции, протекающие в условиях механохимической активации, – механосинтез.

При проведении механохимических реакций существенное значение имеет степень превращения исходных компонентов в продукты реакции, которая зависит, прежде всего, от природы реагирующих веществ, величины механической энергии, подводимой к реакционной смеси, и времени проведения реакции.

В этой связи исследования закономерностей протекания твердофазных механохимических реакций в зависимости от варьирования параметров механической нагрузки являются актуальными.

Реакция этоксилирования (в общем виде – алкоксилирования) важна в органическом синтезе, поскольку продукты этой реакции используются в качестве промышленно важных неионогенных поверхностно-активных веществ, смачивающих, эмульгирующих и стабилизирующих агентов в дисперсных системах различного назначения. Этоксилирование органических соединений с получением этоксилатов обычно проводят при добавлении газообразного этиленоксида к соединениям, содержащим активный водород в составе карбоксильных, гидроксильных или аминогрупп [14]. Проведение реакции этоксилирования химическими методами достаточно трудоемко, поскольку связано с использованием газообразного оксида этилена, наличием катализатора, длительностью процесса (часы), высокой температурой [15].

В связи с этим исследование возможности проведения механохимического синтеза этоксилированных производных органических кислот может оказаться более перспективным, чем традиционный метод.

**Анализ последних исследований и публикаций**

Интенсификация твердофазного синтеза со-


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

единений является одной из основных задач механохимии. Механохимические эффекты в основном реализуются в аппаратах с высокой энергонапряженностью, таких как высокоинтенсивные вибрационные и центробежные [1]. Для протекания твердофазных химических реакций наиболее благоприятные условия могут быть созданы в специальных вибрационных аппаратах-механореакторах. При вибрации возникает эффект интенсивного механического взаимодействия между частицами и объемами многокомпонентных систем. При этом возникает так называемый «виброкипящий» слой, то есть чрезвычайно интенсивные относительные колебания твердых частиц. С точки зрения протекания механохимических реакций именно такие эффекты представляют наибольший интерес, поскольку они стимулируют механохимические реакции [16,17]. Вибрационные аппараты-механореакторы специальных конструкций позволяют проводить химические реакции в течение 5…10 мин, тогда как в центробежных аппаратах время реакции может достигать нескольких часов. Использование вибрационных аппаратов наиболее целесообразно именно в случае хрупких молекулярных кристаллов органических соединений.

Механохимическим реакциям между твердыми низкомолекулярными органическими соединениями посвящено относительно небольшое число исследований. В литературе описан ряд твердофазных механохимических реакций органического синтеза, таких как этерификация, циклизация, галогенирование, замещение галогена, гидрогенолиз, окисление, ацилирование [3,18,19] и др. Механохимические реакции этоксилирования органических соединений в литературе не описаны.

**Цель (задачи) исследования**

Целью работы было проведение твердофазной реакции между ароматическими кислотами (бензойная, *орто*-хлорбензойная и *орто*-нитробензойная) и полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000) механохимическим методом в вибрационном аппарате при варьировании времени активации и исследование продуктов реакции методом ИК спектроскопии.

**Основной материал исследования**

Механохимические твердофазные реакции органических кислот с ПЭГ-6000 проводили в вибрационном аппарате 75Т-ДрМ при частоте вибрации $\nu$=50 Гц и амплитуде $A$=3,0…5,0 мм. Величина виброускорения ($I=4\pi^2 A\nu^2$) составляла 296…493 м/с$^2$; сила, действующая на слой материала со стороны рабочего тела массой $M_T$=1,13 кг, составляла 334..557 Н ($F=M_T \times I$). Кинетическая энергия ($K$, Дж) рабочего тела массой $M_T$ переходит в потенциальную энергию сил упругости деформируемых твердых частиц реакционной смеси, $U_y$, Дж [20]:

$$K = U_y = \frac{M_T V^2}{2},$$

где $V=A\omega=2\pi\nu A$=0,942…1,57 м/с – виброскорость.

Количество энергии, приходящееся на единицу массы вещества (масса реакционной смеси, $m$=2 г), составляло $K$ ($U_y$)/$m$=0,25…0,70 Дж/г. Величина отношения величины силы к единице массы реакционной смеси, $F/m$=167,0…278,5 Н/г. Время механохимической активации смеси реагентов ($\tau_{АК}$) составляло 5 и 10 мин.

ИК-спектры регистрировали на спектрометре Bruker Tensor 37 FTIR Spectrometer в таблетках KBr.

На рис. 1…3 приведены ИК-спектры компонентов механохимических реакций: бензойной кислоты, *орто*-хлор- и *орто*-нитробензойных кислот, ПЭГ-6000 и продуктов взаимодействия ароматических кислот с ПЭГ-6000.

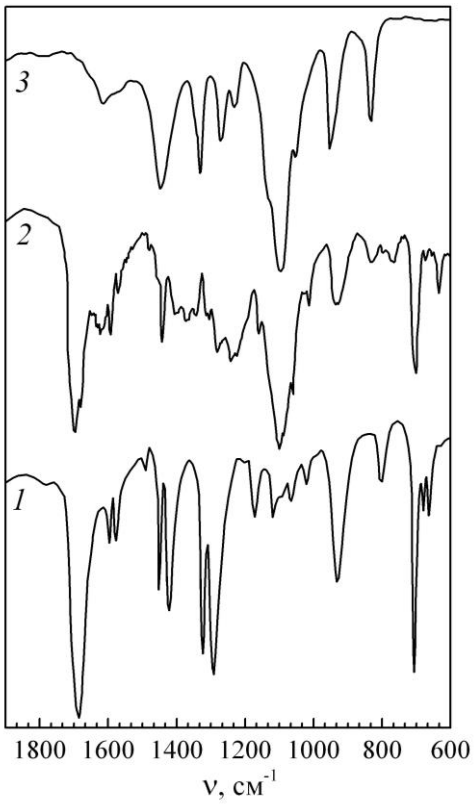
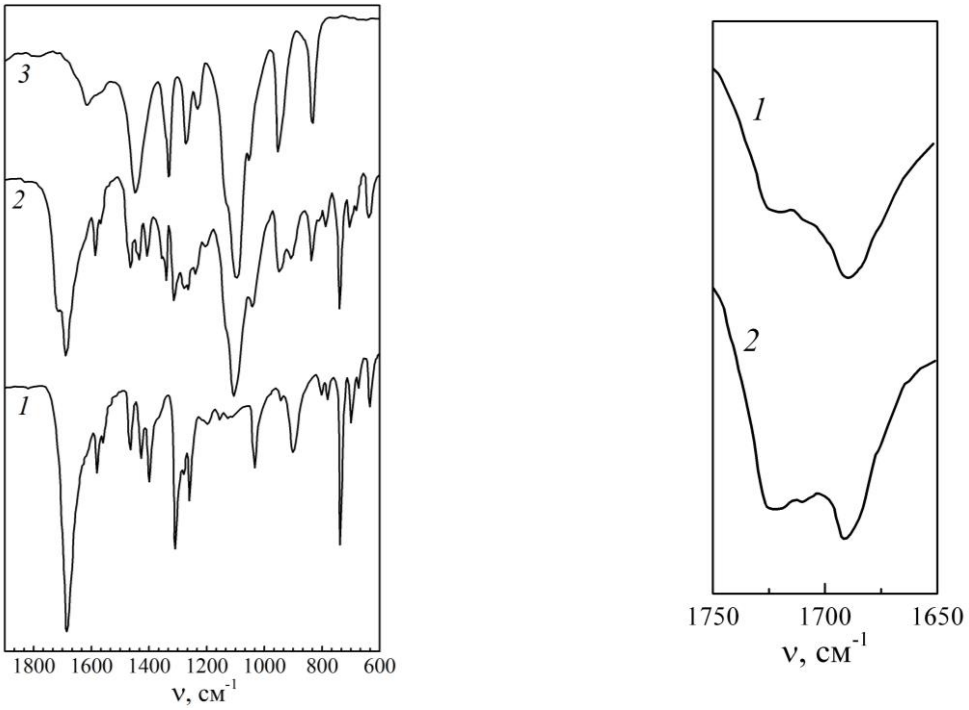


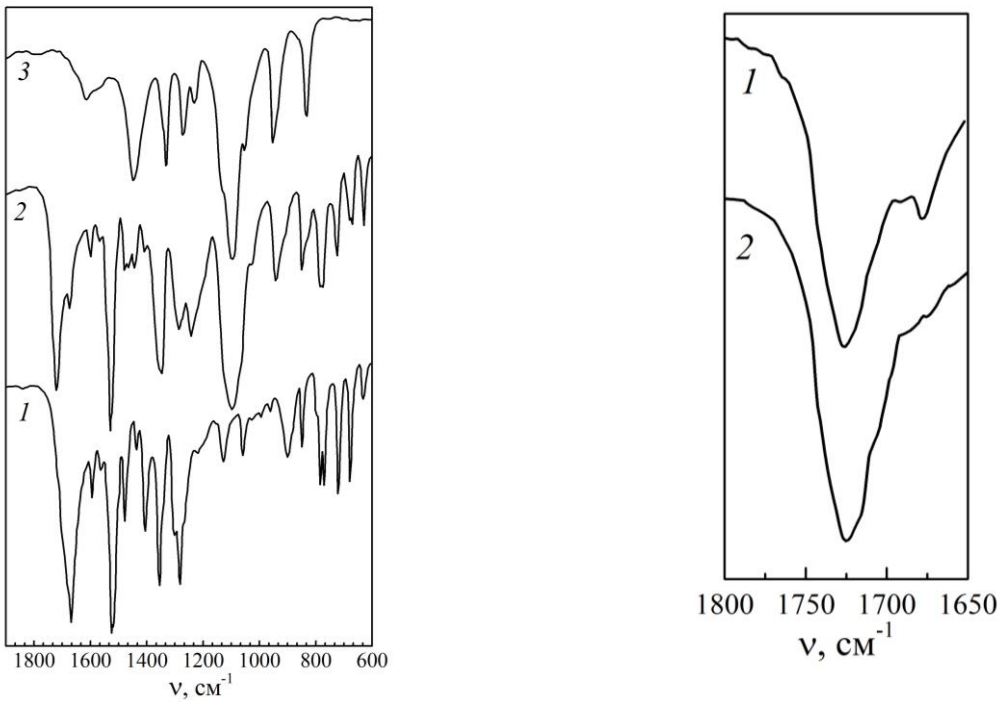

Рис. 1. ИК-спектры образцов:
*1* – бензойная кислота; *2* – бензойная кислота + ПЭГ-6000; *3* – ПЭГ-6000; время активирования реакционных смесей 5 мин


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org




а б

Рис. 2: *а* – обзорные ИК-спектры:
*1* – *орто*-хлорбензойная кислота; *2* – *орто*-хлорбензойная кислота + ПЭГ-6000 (время активирования 5 мин); *3* – ПЭГ-6000;
*б* – полосы поглощения валентных колебаний С=О-группы механоактивированной реакционной смеси *орто*-хлорбензойная кислота + ПЭГ-6000 при различном времени ее активирования, $\tau_{АК}$, мин: *1* – 5; *2* – 10




а б

Рис. 3. *а* – обзорные ИК-спектры: *1* – *орто*-нитробензойная кислота; *2* – *орто*-нитробензойная кислота + ПЭГ-6000 (время активирования 5 мин); *3* – ПЭГ-6000;
*б* – полосы поглощения валентных колебаний С=О-группы механоактивированной реакционной смеси *орто*-нитробензойная кислота + ПЭГ-6000 при различном времени ее активирования, $\tau_{АК}$, мин: *1* – 5; *2* – 10


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Таблица. ИК-спектроскопические характеристики бензойных кислот и продуктов их этоксилирования

| Кислота | Частоты полос поглощения C=O-колебаний, $см^{-1}$ | |
|---|---|---|
| | $\nu_{C=O}$ в спектре кислоты | $\nu_{C=O}$ в спектре продукта реакции |
| Бензойная | 1688 | 1714 |
| *орто*-хлорбензойная | 1694 | 1727 |
| *орто*-нитробензойная | 1683 | 1728 |

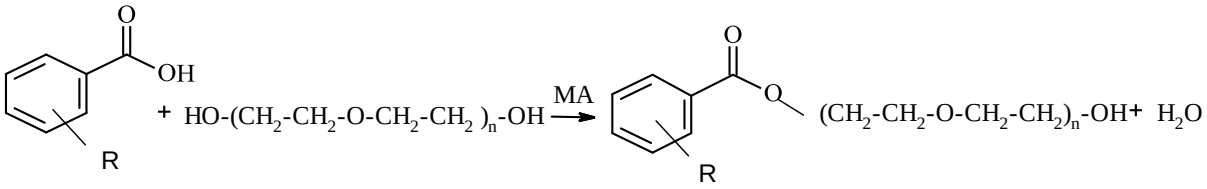



Рис. 4. Схема реакции этоксилирования бензойных кислот механохимическим методом

В ИК спектрах смесей, полученных в результате механоактивации, присутствуют полосы поглощения исходных реагентов и новые, которые можно отнести к продуктам реакции. В области поглощения валентных колебаний карбонильной группы регистрируются две полосы, одна из которых относится к поглощению валентного C=O колебания карбоксильной группы кислоты, Ar-C(O)OH, а другая, смещенная в высокочастотную область на 20…35 $см^{-1}$ (таблица), может быть отнесена к валентным колебаниям карбонильной группы образующегося сложного эфира, Ar-C(O)O-R. Снижается интенсивность валентных OH-колебаний кислоты в области 2700-2500 $см^{-1}$. После очистки путем высаждения избытка кислоты эти полосы исчезают. Изменения претерпевает область поглощения деформационных колебаний OH-групп: 960-890 $см^{-1}$. Вместо широкой полосы поглощения ПЭГ с максимумом при 960 $см^{-1}$ регистрируются новые полосы при 950-940 $см^{-1}$, что, возможно, связано как с наличием у ПЭГ второй, непрореагировавшей, OH-группы, так и со структурными изменениями в результате твердофазной реакции. Это дает возможность предполагать, что в условиях механохимического синтеза бензойные кислоты взаимодействуют с ПЭГ-6000.

Реакции этоксилирования ароматических кислот проводили в двух режимах – при механоактивации в течение 5 и 10 мин. Участки ИК-спектров, отвечающие за валентные колебания карбонильной группы, приведены на рис. 2*б* и 3*б* в увеличенном масштабе. Из этих данных следует, что при увеличении времени механохимической активации до 10 минут изменяются соотношения интенсивностей полос поглощения, которые относятся к валентным колебаниям C=O-групп исходных кислот и этоксилированных продуктов реакции. При этом возрастает интенсивность полос поглощения C=O-групп этоксилированных продуктов. В этой связи, очевидно, что увеличение времени механохимического воздействия приводит к возрастанию степени превращения исходных компонентов реакционной смеси в продукты механосинтеза.

Предполагаемая схема механосинтеза этоксилированных производных бензойных кислот в условиях механохимической активации (МА) приведена на рис. 4.

Увеличение количества этоксилированных продуктов реакции в реакционной смеси при дальнейшем увеличении энергии механохимической активации может оказаться полезным с точки зрения технологии получения поверхностно-активных веществ. Известно, что галогензамещенные и нитропроизводные бензойной кислоты применяются как антимикробные средства в технических жидкостях [21]. В результате реакции этоксилирования таких бензойных кислот возможно получение галоген- и нитрозамещенных неионогенных поверхностно-активных веществ, которые будут обладать антимикробными и бактерицидными свойствами.

**Выводы**

Получены новые актуальные научные результаты, относящиеся к развитию метода механохимическое этоксилирование бензойной кислоты и её производных, в энергонапряженном вибрационном аппарате.

Изменения структуры макромолекул этоксилированных производных бензойных кислот подтверждено методами ИК-спектроскопии.

Показано, что механохимическая реакция этоксилирования бензойных кислот осуществляется по карбоксильным группам.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Установлено, что степень превращения исходных компонентов реакционной смеси в этоксилированные производные бензойных кислот зависит от времени механохимической активации.

**Список литературы**


1. Болдырев, В.В. Механохимия и механохимическая активация твердых тел // Успехи химии. – 2006. – №3. Т.75. – С. 203-216.
2. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / отв. ред. Е.Г. Авакумов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 343 с.
3. Механохимический синтез органических соединений и композитов с их участием / Н.З. Ляхов [и др.] // Успехи химии. – 2010. – №3. Т.79. – С. 218-233.
4. Ломовский, О.И. Механохимия в решении экологических задач / О.И. Ломовский, В.В. Болдырев. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2006. – 221 с.
5. Русанов, А.И. Термодинамические основы механохимии. – СПб.: Наука, 2006. – 221 с.
6. Gratz, S. Mechanochemical polymerization – controlling a polycondensation reaction between a diamine and a dialdehyde in a ball mill / S. Gratz, L. Borchardt // RSC Adv. – 2016. – Vol.6. – P. 64799-64802.
7. Барамбойм, Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1971. – 364 с.
8. Matsuoka, M. Kinetics of solid-state polymorphic transition of glycine in mechanochemical processing / M. Matsuoka, J. Hirata, S. Yoshizawa // Chemical engineering research and design. – 2010. – Vol.88. – P. 1169-1173.
9. Identification of a new cocrystal of citric acid and paracetamol of pharmaceutical relevance / M. A. Elbagerma [et al.] // Cryst. Eng. Comm. – 2010. – Vol.13. – P. 1877-1884.
10. О возможностях обнаружения промежуточных состояний в механохимическом синтезе молекулярных комплексов / И.А. Туманов [и др.] // Журнал физической химии. – 2012. – №6. Т.86. – С. 1125-1128.
11. Miao, Yu-Run. Mechanochemical Reactions of Metal-Organic Frameworks / Yu-Run Miao, K.S. Suslick // Advances in Inorganic Chemistry. – 2018. – Vol.71. – P. 403-434.
12. Бутягин, П.Ю. О критическом состоянии вещества в механохимических превращениях // ДАН РФ. – 1993. – №3. Т.331. – С. 311-314.
13. Бутягин, П.Ю. Разупорядочение структуры и механохимические реакции в твердых телах // Успехи химии. – 1984. – Вып.2. Т.53. – С. 1769-1789.
14. Novel General Procedure for the Preparation of Homogeneous Nonionic Surfactants / P. Sallaya, L. Farkas, A. Szlovak, G. Fogassy // J. Surfactants Deterg. – 2002. – No.4. Vol.5. – P. 353-357.
15. O'Lenick, A.J. Group selectivity of ethoxylation of hydroxy acids / A.J. O'Lenick // J. Society of Cosmetic Chemists. – 1993. – No.6. Vol.44. – P. 319-328.
16. Овчинников, П.Ф. Виброреология. – Киев: Наукова думка, 1983. – 243 с.
17. Блехман, И.И. Что может вибрация. О «вибрационной механике» и вибрационной технике. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
18. Чуев, В.П. Реакция ацилирования первичных ароматических аминов в условиях механохимического синтеза / В.П. Чуев, Л.А. Лягина, В.В. Болдырев //ДАН СССР. – 1990. – №4. Т.315. – С. 916-920.
19. Kumar, T.A. Mechanochemical synthesis of small organic molecules / T.A. Kumar, A. Bose, P. Mal // Beilstein J. Org. Chem. – 2017. – Vol.13. – P. 1907-1931.
20. Чуев, В.П. Механохимический синтез фталазола / В.П. Чуев, Л.А. Лягина, Е.Ю. Иванов // ДАН СССР. – 1989. – №6. Т.307. – С. 1429-1432.
21. Патент RU 2325203 C2. Антимикробные композиции, содержащие ароматические карбоновые кислоты и спиртовый растворитель / Тейлор Тимоти Дж. и др. (US); ЗЭ ДАЙАЛ КОРПОРЕЙШН (US). – Заявл. 2004.11.23; опубл. 2008.05.27.


**S.L. Khil'ko /Cand. Sci. (Chem.)/, R.A. Makarova /Cand. Sci. (Chem.)/, R.G. Semyonova /Cand. Sci. (Chem.)/**
*L.M. Litvinenko Institute of Physial Organic and Coal Chemistry (Donetsk)*

## SOLID-PHASE ETHOXYLATION OF AROMATIC ACIDS

***Background.*** *The interest in carrying out solid-phase chemical reactions under the action of mechanical forces on the reaction mixture is since the mechanochemical method of carrying out the reactions is much simpler, cheaper, and in some cases, more efficient than the implementation of reactions in solution. Mechanochemical processes are not associated with the use of solvents, catalysts; the reac-*


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

*tions are carried out at room temperature and with a significant reduction in the reaction time. This is promising for the technology of obtaining dosage forms, surfactants, sorbents, redox polymers, etc. Investigation of the regularities of the course of solid-phase mechanochemical reactions depending on the variation of the parameters of the mechanical load is relevant. The study of the possibility of carrying out the mechanochemical synthesis of ethoxylated derivatives of organic acids may be promising for the preparation of halogen-substituted and nitro-substituted nonionic surfactants that will have antimicrobial and bactericidal properties.*

***Materials and/or methods.*** *Mechanochemical solid-phase reactions of organic acids with PEG-6000 were carried out in a 75T-DrM vibration apparatus at a vibration frequency ν = 50 Hz and an amplitude A = 3.0…5.0 mm. The value of vibration acceleration was 296…493 m/s$^2$; the force acting on the material layer from the side of the working medium with the mass MT = 1.13 kg was 334…557 N. The time of mechanochemical activation of the reagent mixture was τAK = 5 and 10 min.*

*IR spectra were recorded on a Bruker Tensor 37 FTIR Spectrometer in KBr pallets.*

***Results.*** *It was shown by IR-spectroscopy that the solid-phase reaction of ethoxylation of benzoic acids proceeds through the carboxyl groups. The spectra of activated reaction mixtures contain absorption bands of the initial reagents and new ones, which can be attributed to the reaction products. In the absorption region of the stretching vibrations of the carbonyl group, two bands are recorded, one of which belongs to the initial acid, and the other, shifted to the high-frequency region by 20…35 sm$^{-1}$, can be attributed to the stretching vibrations of the C=O group of the resulting compound. With an increase in the time of mechanochemical activation, the ratios of the intensities of the absorption bands of the stretching vibrations of the C=O group of the initial acids and the ethoxylated reaction products change. In this case, the intensity of the absorption bands of the C=O groups of the ethoxylated products increases. It is shown that an increase in the time of mechanochemical action leads to an increase in the degree of conversion of the initial components of the reaction mixture into products of mechanosynthesis.*

***Conclusion.*** *For the first time, the possibility of solid-phase mechanochemical synthesis of ethoxylated derivatives of benzoic acids in an energy-intensive vibration apparatus is shown. Changes in the structure of macromolecules of ethoxylated derivatives of benzoic acids were confirmed by IR-spectroscopy. It was shown that the mechanochemical reaction of ethoxylation of benzoic acids is carried out at the carboxyl groups. It was found that the degree of conversion of the initial components of the reaction mixture into ethoxylated derivatives of benzoic acids depends on the time of mechanochemical activation.*

***Keywords:*** *benzoic acid; ortho-chlorobenzoic acid; ortho-nitrobenzoic acid; polyethylene glycol (PEG-6000); mechanochemical solid-phase reactions; IR-spectroscopy.*

**Сведения об авторах**

**С.Л. Хилько**
SPIN-код: 2972-0960
Author ID: 1020818
Телефон: +380 (71) 331-38-03
Эл. адрес: sv-hilko@yandex.ru

**Р.Г. Семенова**
SPIN-код: 5696-3297
Author ID: 1020190
Телефон: +380 (71)380-08-08
Эл. адрес: reemma2010@yandex.ua

**Р.А. Макарова**
SPIN-код: 1486-6140
Author ID: 1020652
Телефон.: +380 (71)375-07-66
Эл. адрес: makarova.ra@yandex.ru

*Статья поступила 28.08.2021*
*© С.Л. Хилько, Р.А. Макарова, Р.Г. Семенова, 2021*
*Рецензент д.х.н., проф. В.В. Шаповалов*

# ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, НАПРАВЛЯЕМЫМ В РЕДАКЦИЮ

1. Основной текст статьи должен содержать такие необходимые элементы, выделенные заголовками, как:

– **постановка проблемы** в обобщенном виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;

– **анализ последних исследований и публикаций**, в которых начато решение данной проблемы и на которые опираются авторы, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена данная статья;

– формулировка **цели (задачи) исследования;**

– изложение **основного материала исследования** с полным обоснованием полученных научных результатов;

– **выводы** по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

2. Статья, основной текст вместе с рисунками и др. нетекстовыми элементами, должна быть объемом **8…10 полных** страниц формата А4 (210×297 мм) с полями **20** мм с каждой стороны. Рукопись статьи необходимо оформлять с помощью редактора MS Word. Шрифт – Times New Roman, **12** пт, стиль – обычный. Межстрочный интервал – одинарный. Расстановка переносов – автоматическая. Выравнивание – по ширине страницы. Страницы не нумеровать.

3. Структура статьи (каждый элемент с новой строки): код УДК; инициалы и фамилии авторов с указанием ученой степени каждого (количество авторов **не более 3-х** от одной организации); название организации, город, где работают авторы; название статьи; аннотация на русском языке (объемом **не более 300** символов); ключевые слова (**от 3 до 5**); основной текст статьи; список литературы. Сокращение слов в тексте, рисунках и таблицах не допускается.

В аннотации на русском языке сжато излагается формулировка задачи, которая решена в статье, и приводятся полученные основные результаты.

В конце статьи, после списка литературы приводятся инициалы и фамилии авторов, ученые степени, организации, города, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке

Аннотация на английском языке должна представлять собой резюме, призванное выполнять функцию независимого от статьи источника информации. Резюме должно быть информативным (не содержать общих слов), оригинальным (не являться калькой аннотации на других языках), содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований), структурированным (следовать логике описания результатов в статье), компактным, но не коротким (объемом **от 250 до 300** слов). Типичная структура резюме: состояние вопроса (**Background**); материалы и/или методы исследования (**Materials and/or methods**); результаты (**Results**); заключение (**Conclusion**).

**Внимание!** Убедительная просьба не разбивать текст на колонки, как это сделано в журнале, т.к. это усложняет редакторскую обработку статьи!

4. **Обязательным условием** является наличие в статье графического материала (рисунков, графиков, схем, фотографий), размером **не менее 80×80** мм, в формате *.tif или *.jpg, разрешением **не менее 300** dpi. Графический материал внедренными объектами размещается по тексту после первого упоминания, не разрывая текста абзаца. Все позиции, обозначенные на рисунках, должны быть объяснены в тексте. Под каждым рисунком указывается его порядковый номер и название (выравнивание по центру страницы, без точки в конце). Рисунки должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу.

**Внимание!** Запрещается внедрять графические материалы в виде объектов, связанных с др. программами, например, с КОМПАС, MS Excel и т.п. Рисунки, выполненные непосредственно в MS Word не принимаются.

5. Математические формулы необходимо выполнять с помощью редактора формул **MS Equation Editor 3.0** в соответствии со следующими размерами: обычный символ – **11** пт; крупный индекс – **7** пт; мелкий индекс – **5** пт; крупный символ – **13** пт; мелкий символ – **8** пт.

Все величины, входящие в формулы, должны быть объяснены в тексте. Формулы должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу. Формулы выполняются курсивом, **кроме цифр и символов греческого алфавита.** Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от формулы) **только в том случае**, если в тексте на них имеются ссылки.

**Внимание!** Количество формул в статье **не более 5.** Запрещается выполнять формулы с помощью MathCAD или др. аналогичных программ.

6. Таблицы должны иметь порядковый номер и название (выравнивание по центру страницы, без точки в конце) и располагаться по тексту после первого упоминания, не разрывая текста абзаца. Таблицы должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу.

7. **Обязательным условием** является наличие в статье списка литературы, который приводится после выводов через один интервал (пустую строку) под заголовком **Список литературы**. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу по тексту заключаются в квадратные скобки. В списке литературы должно быть **не менее 3-х** публикаций, вышедших **за последние 5** лет, а также **не менее 3-х** зарубежных (англоязычных) публикаций.

**Для принятия решения о публикации статьи в журнале, в адрес редакции необходимо выслать:**

– сопроводительное письмо (с указанием, что статья ранее нигде не публиковалась) от организации, где работают авторы и сведения об авторах статьи;

– электронный вариант статьи (имя файла составляется из фамилий авторов, например, ИвановПетров.doc) и сведений об авторах (имя файла – ИвановПетров_sved.doc).

*В сведениях об авторах для каждого соавтора обязательно должен быть указан адрес персональной эл. почты.*

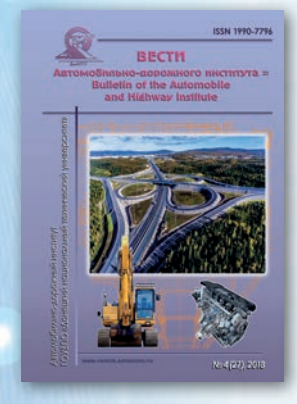
Для ускорения подготовки очередных номеров журнала, просьба передавать сопроводительное письмо в отсканированном виде, электронный вариант статьи и сведения об авторах по эл. почте на адрес: **vestnikdonntu@donntu.org**

**Внимание!** Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов любым из способов (по телефонам: **+380(62)301-07-89, +380(71)439-95-16-Радченко Ирина Владимировна, +380(71)403-63-69-Гончаренко Алена Анатольевна** или по эл. почте).

**Редакция оставляет за собой право возвращать статьи авторам на доработку в следующих случаях:** статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции журнала, приведенным выше; статья требует доработки в соответствии с замечаниями рецензента и редакторов; отсутствует сопроводительное письмо от организации, где работают авторы или сведения об авторах.


ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

# НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета




## Журнал «Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА № 000051 от 20 октября 2016 г.
Приказ МОН ДНР № 960 от 09.07.2019 г. о включении в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР
Лицензионный договор с РИНЦ № 427-07/2013 от 23.07.2013 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
05.04 Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;
05.22 Транспорт;
05.23 Строительство и архитектура;
08.00 Экономические науки.

**Подробная информация - http://vestnik.adidonntu.ru**



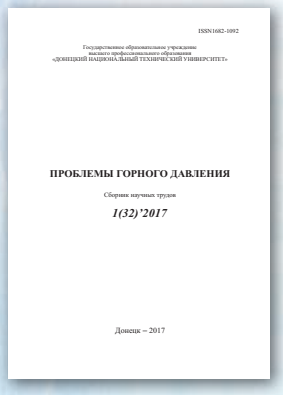

## Научный журнал «Информатика и кибернетика»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000145 от 20.06.2017 г.
Приказ МОН ДНР № 34/16 от 28.01.2019 г. о включении в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР
Лицензионный договор с РИНЦ № 425-07/2016 от 14.07.2016 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
05.13 Информатика, вычислительная техника и управление;
05.01 Инженерная геометрия и компьютерная графика.

**Подробная информация - http://infcyb.donntu.org**



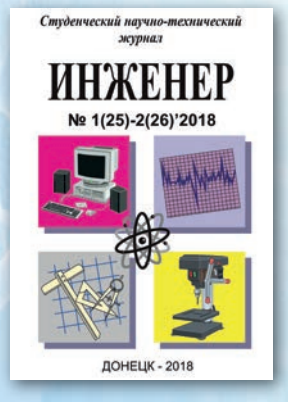

## Международный научный журнал «Проблемы горного давления»

Свидетельство о регистрации в СМИ ААА №000142 от 20.06.2017 г.
Лицензионный договор с РИНЦ № 425-07/2016 от 14.07.2016 г.

**Периодичность – 4 раза в год**

**Научные направления:**
25.00 Науки о земле;
05.26 Безопасность деятельности человека.

**Подробная информация - http://pgd.donntu.org**




## Студенческий научно-технический журнал «Инженер»

Свидетельство о регистрации СМИ ААА №000134 от 06.06.2017 г.

**Периодичность – 2 раза в год**

Научно-исследовательская часть

# ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

science.donntu.org

## ДонНТУ сегодня – это один из ведущих центров научной мысли Донбасса:

- *более 700 научно-педагогических работников;*
- *9 научных лабораторий, в т.ч. отдел интеллектуальной собственности и патентно-лицензионной работы;*
- *более 50 научных направлений и научных школ;*
- *ежегодно более 60 научно-исследовательских работ, в т.ч. 5 по договорам с промышленными предприятиями;*
- *4 диссертационных совета по 10 научным специальностям;*
- *14 направлений подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре;*
- *7 научных изданий, входящих в перечень ВАК ДНР и включенных в наукометрические базы данных (РИНЦ и др.);*
- *ежегодно более 2000 публикаций в научных изданиях республиканского и международного уровня;*
- *ежегодно порядка 120 научных и научно-технических мероприятий, в т.ч. более 20 мероприятий международного уровня;*
- *более 30 информационных ресурсов;*
- *базовая площадка Международного научного форума ДНР «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие»*




science.donntu.org/video
science.donntu.org/photo
science.donntu.org/rinc
science.donntu.org/book