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

ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЕСТНИК

№3 (13) 2018 г.

VIBRO

vibro.donntu.org

ВИБРАЦИЯ МАШИН:
ИЗМЕРЕНИЕ, СНИЖЕНИЕ, ЗАЩИТА

15 ЛЕТ ★ ★ ★ ИННОВАЦИЙ

vk.com/technopark_donetsk

Вестник ДонНТУ №3(13)'2018

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
Булгаков Ю.Ф. (д.т.н., проф.)*

Ответственный секретарь
Сотников А.Л. (д.т.н., доц.)*

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.)*
Бутузова Л.Ф. (д.х.н., проф.)*
Высоцкий Ю.Б. (д.х.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.)*
Приседский В.В. (д.х.н., проф.)*
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: 28300, г. Донецк, ул. Артема, 58
Телефон +380 (62) 304-60-82
Эл. почта: vestnikdonntu@gmail.com
Интернет: vestnik.donntu.org

Вестник ДонНТУ
2018. №3(13)

ISSN 2518-1653 (online)

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

Свидетельство
о государственной регистрации
№ 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 №6 от 14.09.2018

Формат 60×84$^{1/8}$. Заказ 0918.
Изд-во «Донецкая политехника», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

А.Л. Сотников, И.Ф. Муханова
Особенности дистанционного обучения 3

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Д.А. Власенко, Э.П. Левченко
Влияние крупности сырья на кинематику рабочих органов и материала в молотковой дробилке 9

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

М.П. Кондратенко
Проблемы и направления в производстве горных машин высокого качества 17

А.П. Кононенко, В.А. Панов
Экспериментальное обоснование рациональной методики расчета газоструйного компрессора 25

Н.А. Скляров, В.Ф. Шавлак
Определение динамических усилий в тяговом органе крутонаклонного ленточно-цепного конвейера 34

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В.И. Калашников, А.О. Хмара
Анализ тенденций развития зарядных устройств электромобилей 38

А.В. Корощенко, Е.А. Журавель
Анализ и сравнение способов аппроксимации характеристик нелинейных элементов в цепях постоянного тока 42

А.М. Ларин, И.И. Ларина
Анализ влияния структуры схем замещения турбогенераторов на точность моделирования переходных процессов 49

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.А. Иванова, В.А. Капитанов, А.Б. Бирюков, В.В. Худотёплый
Экспериментальное определение коэффициентов теплоотдачи при охлаждении непрерывнолитой заготовки водовоздушными форсунками 57

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Е.Н. Лозинский, Н.С. Лозинский
Об улучшении низкотемпературных свойств топлива дизельного топливом ТС-1, бензином или коммерческими депрессорно-диспергирующими присадками 64

ИНФОРМАЦИЯ

Требования к статьям, направляемым в редакцию 72

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(13)'2018

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
Bulgakov Y.F. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*

Executive secretary
Sotnikov A.L. (Dr. Sci. (Eng.), Assoc. 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.)*
Butuzova L.F. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Vysotsky Y.B. (Dr. Sci. (Chem.), 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.)*
Prisedsky V.V. (Dr. Sci. /Chem./, 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) 304-60-82,
E-mail: vestnikdonntu@gmail.com
Internet: vestnik.donntu.org

Vestnik DonNTU
2018. No.23(13)

ISSN 2518-1653 (online)

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

Certificate of State Registration
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.6 dated 14.09.2018

Format 60×84$^{1/8}$. Order 0918
Publishing house
"Donetsk Polytechnic", 2018

CONTENTS

SCIENTIFIC NOTES

A.L. Sotnikov, I.F. Mukhanova
Features of remote training 3

ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

D.A. Vlasenko, E.P. Levchenko
The effect of particle size of raw materials on the kinematics of working bodies and material in hammer crusher 9

TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION ENGINEERING

M.P. Kondratenko
Problems and directions of high-qualitymining machines production..... 17
A.P. Kononenko, V.A. Panov
The experimental substantiation of rational calculation methods for gas-jet compressors 25
N.A. Sklyarov, V.F. Shavlak
Determining the dynamic forces in the traction body of a high-angle belt chain conveyor 34

ELECTRICAL ENGINEERING

V.I. Kalashnikov, A.O. Khmara
Analysis of development trends of charging devices for electrical vehicles 38
A.V. Koroshchenko, E.A. Zhuravel
Analysis and comparison of methods for approximating nonlinear elements characteristics in dc circuits 42
A.M. Larin, I.I. Larina
Analysis of the influence of the turbogenerator equivalent circuit structure on the accuracy of transient processes simulation 49

METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

A.A. Ivanova, V.A. Kapitanov, A.B. Biryukov, V.V. Khudoteply
Experimental determination of heat transfer coefficients when cooling of concast billets with the water-air nozzles..... 57

CHEMICAL TECHNOLOGY

E.N. Lozynskyy, N.S. Lozynskyy
On improvement of low-temperature fuels of diesel jet engine fuel, gasoline or commercial depressor-dispersing additives..... 64

INFORMATION

Requirements for the papers submitted to the Editorial office..... 72

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.

А.Л. Сотников /д.т.н./, И.Ф. Муханова /к.психол.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрены особенности дистанционной формы обучения аспирантов образовательного учреждения, круг проблем, связанных с переходом на дистанционное обучение. Проведен анализ условий эффективного применения систем дистанционного обучения, выделены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: *дистанционное обучение, формы обучения, аспиранты, преподаватель, самообучение, качество образования.*

Для любой профессиональной деятельности человека характерны инновации. Применительно к образовательной деятельности инновации означают введение нового в цели, содержание, методы, технологии и формы обучения, организацию совместной деятельности преподавателя и обучаемых (студентов, аспирантов и т.д.) [1,2].

Одним из видов инноваций в организации профессионального образования является внедрение дистанционного обучения, которое приобретает большую популярность среди обучающихся. Из года в год количество образовательных учреждений, вводящих дистанционную форму обучения растет, также увеличивается и количество направлений обучения (дисциплин и специальностей).

На сегодняшний день уже сформировалось достаточно конкретное отношение к дистанционному обучению, как со стороны преподавателей, так и со стороны обучающихся. Те и другие, среди **достоинств дистанционной формы обучения** выделяют:

– не нужно тратить время на посещение аудиторных занятий;

– заниматься изучением дисциплины можно в свободное от других дел время, т.е. можно самостоятельно планировать график и программу обучения;

– нет необходимости получать от преподавателя второстепенную информацию;

– можно получить гораздо больше знаний, т.к. они не ограничиваются рамками конспекта лекций преподавателя;

– сроки обучения зависят исключительно от самих обучающихся, что предусматривает возможность досрочного изучения дисциплин.

Наряду с этим также выделяются и **недостатки дистанционной формы обучения**:

– отсутствует прямое живое общения между преподавателем и обучающимися. Когда рядом нет человека, который мог бы эмоционально окрасить знания, это значительный минус для обучения. Сложно создать творческую атмосферу в группе обучающихся;

– необходимо наличие у обучающихся технических средств (персонального компьютера, ноутбука, планшета или смартфона) для доступа в Интернет, а, соответственно, и к источникам информации. Несмотря на бурное развитие и широкое распространение информационных технологий еще не все обучающиеся имеют минимально достаточные технические средства для дистанционного обучения;

– предъявляются высокие требования к постановке задачи на обучение и администрирование образовательного процесса, усложняются задачи мотивации обучающихся. Дистанционная форма обучения подходит для людей способных к самомотивации, самоорганизации и самодисциплине;

– проблема аутентификации пользователя при проверке знаний. В настоящее время не предложено надежных решений проверки личности обучающихся. В результате чего дистанционная форма обучения в большинстве случаев по-прежнему предполагает очный контроль знаний;

– высокая стоимость и трудоемкость создания и администрирования системы дистанционного обучения, включая разработку самих курсов дистанционного обучения. Создание 1 часа действительно интерактивного мультимедийного курса занимает более 1000 человеко-часов профессионалов (преподавателей, методистов, дизайнеров и программистов). Авторы придерживаются мнения российских ученых, педагогов-практиков, развивающих методы и технологии дистанционного обучения, что курс дистанционного обучения нельзя получить, просто переведя в компьютерную форму учебные материалы традиционного очного обучения [3].

С целью сравнительного анализа очной и дистанционной форм обучения, а также изучения целесообразности внедрения и эффективности дистанционного обучения в ГОУ ВПО «Донец-

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

кий национальный технический университет» (ДонНТУ) был проведен следующий эксперимент. В течении двух лет (2017…2018 г.) преподавание дисциплины «Основы подготовки публичного выступления и наукоемкой публикации» аспирантам ДонНТУ первого года обучения осуществлялось по двум рассматриваемым формам обучения.

В первый год эксперимента очная форма обучения включала проведение аудиторных лекционных и практических занятий с обязательным выполнением индивидуального задания по дисциплине. Как правило, занятия проводились с изложением учебного материала в виде презентаций и предоставления аспирантам раздаточного материала в электронном виде (презентации, видеолекции, примеры публикаций, методические пособия и т.д.). Последнее занятие было посвящено контролю знаний и анкетированию.

На втором годе эксперимента для преподавания выше обозначенной дисциплины использовалась дистанционная форма обучения. Для организации дистанционной формы обучения предварительно был выполнен поиск необходимой системы дистанционного обучения из существующих на рынке. К системе дистанционного обучения предъявлялся ряд следующих требований: наличие русскоязычного интерфейса и системы технической поддержки; доступный и интуитивно понятный интерфейс; возможность работы через веб-браузер; простая аутентификация обучаемых; встроенные средства для создания тестовых заданий, формирования программы обучения, контроля правильности выполнения заданий и учета успеваемости обучаемых.

Из всего разнообразия систем дистанционного обучения и платформ (Moodle, Grand Class, INDIGO, WebTutor, Mirapolis LMS, Uchi.Pro, iSpring Online, EduTerra, Teachbase и др.) предпочтение было отдано системе Grand Class.

Система дистанционного обучения Grand Class обладает рядом конкурентных преимуществ [4].

При создании курсов обучения есть возможность разделения курса (дисциплины) на главы, разделы, уроки, что позволяет рационально структурировать учебный материал (рис. 1). Интуитивный интерфейс создания работы с системой, понятный любому преподавателю. Поддержка различных форматов учебных материалов, доступны текстовый редактор, редактор формул, вставка видеороликов и изображений.

Удобный интерфейс создания различны тестов: на выбор (одного или нескольких) ответов; на упорядочивание; «да/нет»; с числовым ответом в открытой форме; с текстовым ответом. Поддерживаются балльные оценки вопросов. Например, сложным присваивается больший балл, простым-меньший. Система выставления оценок по пятибалльной/десятибалльной шкале.

Предусмотрено размещение заданий с развернутым ответом. Задания можно назначить на конкретную группу обучающихся по выбранной дисциплине или на конкретное занятие согласно программы обучения. Дана возможность обучающимся прикладывать скан решения задания (задачи) в формате графического изображения (фотографии). Решенное задание поступает на почту преподавателя после сразу после решения. По завершению проверки преподаватель выставляет оценку и пишет комментарий (при необходимости), который поступает обратно обучающемуся.

Реализован механизм контроля успеваемости обучающихся со сбором статистики просмотров учебных материалов и времени, проведенного за их изучением (рис. 2). Также автоматически рассчитывается процента готовности к контролю знаний. Преподаватель имеет возможность комплектовать группы из обучающихся, зарегистрированных в системе, вести с ними переписку непосредственно в системе. Реализована удобная регистрация студентов и преподавателей.

Порядок дистанционного обучения был следующий.

Все аспиранты 2018 года обучения до начала обучения были зарегистрированы в системе, после подтверждения ними регистрации им стали доступны личные кабинеты, где они получили доступ к учебным и др. методическим материалам по дисциплине. Кроме этого, обучающиеся получили возможность самостоятельно контролировать программу обучения и свою успеваемость.

Учебный материал дисциплины был предварительно структурирован на 5 разделов, каждый из которых заканчивался индивидуальным заданием (рис. 1). Объем учебного материала был рассчитан на три с половиной месяца обучения. Последнее занятие было посвящено контролю знаний и анкетированию. Периодически раз в месяц проводились очные занятия с аспирантами для изучения отдельных тем дисциплины, ознакомления с особенностями системы дистанционного обучения и разрешения трудностей, возникающих у них при самостоятельной работе с системой. Также обучающиеся имели возможность консультироваться с преподавателем посредством электронной почты и встроенной системы общения в системе дистанционного обучения Grand Class.

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

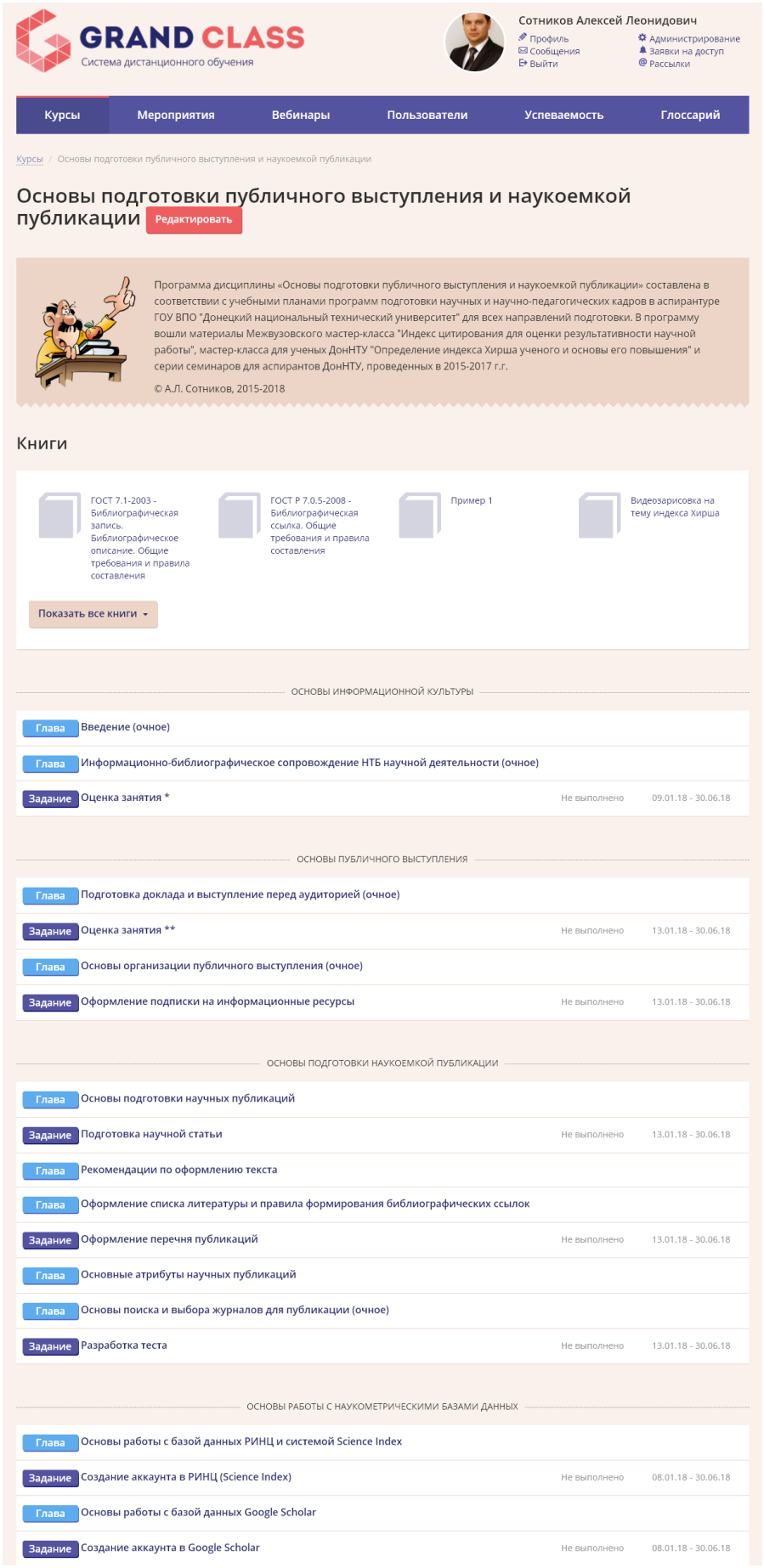


Рис. 1. Фрагмент главного окна системы дистанционного обучения Grand Class «Основы подготовки публичного выступления и наукоемкой публикации»

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

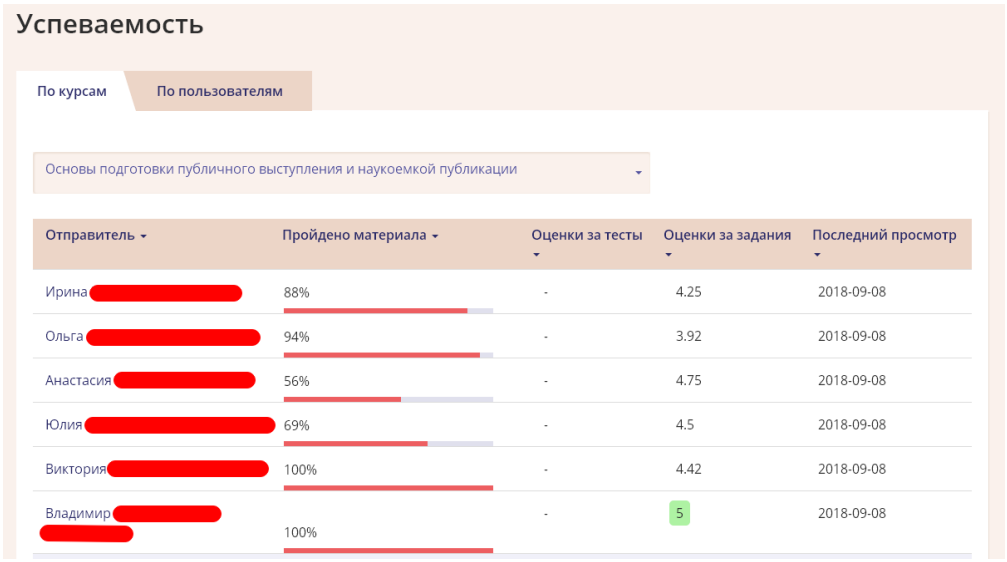


Рис. 2. Фрагмент рабочего окна системы дистанционного обучения Grand Class в режиме контроля успеваемости обучающихся

Следует обратить внимание, что разработанный учебный материал дисциплины не являлся полноценным интерактивным мультимедийным курсом обучения, в силу выше обозначенных недостатков дистанционного обучения. В рассматриваемом случае в основу дистанционной формы обучения были положены учебные материалы очной формы обучения (презентации, видеолекции, примеры публикаций, методические пособия и т.д.).

Это, в принципе, один из путей решения проблемы разработки курсов дистанционного обучения, заключающийся в адаптации имеющихся учебных материалов с добавлением существующих в открытом доступе текстовых, графических, видео- и аудиоматериалов. Главное здесь соблюдение авторских прав владельцев интеллектуальной собственности. Такой подход, с одной стороны, позволяет сократить время на разработку курсов дистанционного обучения, а, с другой стороны, работать постепенно над усложнением курсов, т.е. постоянно его развивать и совершенствовать.

Для выполнения сравнительного анализа очной и дистанционной формы обучения по дисциплине «Основы подготовки публичного выступления и наукоемкой публикации» было проведено анкетирование аспирантов по окончанию ее изучения во время контроля знаний на последнем занятии. В исследовании приняли участие 16 аспирантов очной формы обучения – в 2017 г. и 21 аспирант дистанционной формы – в 2018 г. Аспирантам было предложено анкетирование, результаты которого позволили изучить не только вопросы эффективности дистанционного обучения, но и особенности предпочтения той или иной формы обучения.

Основным принципом дистанционного обучения является установление интерактивного общения между преподавателем и обучающимися без обеспечения их непосредственной встречи и самостоятельное освоение обучающимися определенного массива знаний и навыков по выбранной дисциплине.

Так, результаты анкетирования показали, что аспиранты дистанционной формы обучения в большей степени нуждаются в проведении консультаций преподавателем по электронной почте (76,2 %), чем аспиранты очной формы (44 %) практически в 2 раза.

А вот необходимость консультаций преподавателя на занятиях в аудитории больше испытывают аспиранты очной формы (63 %), чем дистанционной формы обучения (33,3 %). Таким образом, очевидным является дефицит прямого общения между преподавателем и обучающимися для очной формы. В данной ситуации актуальным становится вопрос о рациональном количестве обучающихся в группе, исходя из возможностей преподавателя уделить достаточное внимание во время занятий каждому из них. Аспиранты дистанционной формы обучения, скорее всего, больше адаптируются к условиям и самодисциплинируются. Хотя и те, и другие имеют большую трудовую занятость, так как совмещают работу, чаще всего преподавательскую, с обучением в аспирантуре.

Однако, испытывая потребность аспирантов в консультациях преподавателя, они не выделяют диалог напрямую с ним, как приоритетный и удобный, только для 23,5 % аспирантов очной формы и для 14,3 % аспирантов дистанционной формы обучения лучшим является ведение диалога напрямую. Опосредованное, че-

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

рез электронную почту общение предпочитают вести 17,6 и 9,5 % аспирантов очной и дистанционной формы обучения, соответственно. А ответ «по-разному» прозвучал у 58,8 и 76,2 % аспирантов очной и дистанционной формы обучения.

Несмотря на широкое проникновение Интернета и технических возможностей у каждого аспиранта, всего лишь 38 и 42,8 % аспирантов очной и дистанционной формы обучения активно используют социальные сети для диалога с преподавателем. Вообще не используют социальные сети для диалога с преподавателем 31 и 28,6 % аспирантов, соответственно.

Главной задачей дистанционного обучения является создание новых методов и технологий обучения, отвечающих возможностям современных информационных технологий. Цель создания новых методов и технологий дистанционного обучения заключается в развитии способностей к самообучению. Обучающиеся играют активную роль в обучении, в основе образовательной деятельности – сотрудничество преподавателя и обучающихся. Поэтому, с нашей точки зрения, важен анализ модели деятельности и взаимодействия преподавателя и обучаемых, методов, технологий и форм обучения.

В процессе изучения дисциплины аспиранты очной (81 %) и дистанционной (95,2 %) формы обучения делали акцент на организации достаточного количества практических индивидуальных заданий для самостоятельного освоения дисциплины, что указывает на значимость качества подготовки самого преподавателя к разным формам организации образовательного процесса.

Очевидным является тот факт, что большая часть аспирантов, самостоятельно изучая дисциплину, анализируя содержание изучаемых тем, легко могут выделить дополнительные темы для более глубокого изучения дисциплины, определив их место в общей системе своих знаний.

Что касается форм организации самостоятельного изучения дисциплины, то мнение аспирантов очной и дистанционной формы совпало. Они определили презентации (30,5 и 32,7 %, соответственно) и пошаговые инструкции (25 и 30,8 %, соответственно) самыми приоритетными формами. Аспиранты обеих форм обучения качество презентаций и раздаточного материала, подготовленных преподавателем, оценили очень высоко. Также видеолекциям отдают предпочтение 22 и 15,4 % аспирантов очной и дистанционной формы обучения. Аудиолекциям самое меньшее предпочтение (2,8 и 1,9 %). Также, менее эффективными считаются лекции в текстовом виде (13,9 и 9,6 %) и учебники, учебные пособия (2,8 и 9,6 %), что наводит на размышление о том, что аспиранты любой формы предпочитают пассивно потреблять информацию, а не создавать собственное понимание предметного содержания дисциплины. Именно этот феномен и является главной проблемой развития дистанционного обучения. В связи с этим требуется пересмотр модели деятельности и взаимодействия преподавателя и обучаемых, методов и технологий обучения.

Что касается предпочтений (выбора, как стоял вопрос в анкете) между дистанционным (самостоятельным) изучением дисциплины с помощью специализированного Интернет-сервиса или очного (вместе с другими аспирантами), аспиранты очной формы обучения совсем не склоняются только к дистанционной форме обучения, в отличие от аспирантов дистанционной формы, которые в своем большинстве (61,9 %) свой выбор отдают именно этой форме. Но и ту, и другую форму выбрали обе группы: 68,8 и 38,1 % аспирантов очной и дистанционной формы обучения. Аспиранты дистанционной формы обучения совсем исключают для себя очную форму обучения, объясняя это трудовой занятостью и отсутствием свободного времени в процессе обучения в аспирантуре.

Аспиранты очной формы обучения больше удовлетворены объемом изложения разных разделов дисциплины, чем аспиранты дистанционной формы обучения, которым не хватало информации по 8 разделам, что позволяет предположить отсутствие внутренних и внешних ресурсов для самостоятельного изучения разделов дисциплины.

При этом стало очевидным, что дистанционное обучение не является самодостаточной формой обучения в сфере профессионального образования, главным образом в технических дисциплинах и специальностях. Насколько бы интерактивным и мультимедийным не был бы курс дистанционного обучения без практической подготовки, обучающиеся не смогут полноценно изучить дисциплину или освоить знания и навыки по специальности [5…9]. В данном случае дистанционное обучение следует рассматривать как дополнительную форму обучения.

Выводы

Таким образом, проведенное 2-х-летнее исследование показало, что преимуществами дистанционной формы обучения являются:

– возможность не ощущать трудности, свя-

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

занные с ограничением времени аспирантов, совмещающих работу, чаще всего преподавательскую, с обучением в аспирантуре;

– обеспечение широкого доступа к информационным ресурсам по дисциплине;

– предоставление возможности организации процесса самообучения наиболее эффективным для себя образом и получения всех необходимых средств для самообучения;

– «дружественные» к обучающимся технологии обучения.

Организация дистанционного обучения в образовательном учреждении, имеющее своим результатом формирование требуемых компетенций, создает педагогическое основание для разработки индивидуальных маршрутов обучения студентов и создания универсальной системы контроля качества дистанционного обучения в образовательном учреждении.

Список литературы

1. Кларин, М.В. Инновации в обучении. Метафоры и модели. – М.: Наука, 1997. – 398 с.
2. Лукичев, А.В. Некоторые проблемы инженерного образования в сфере машиностроения на рубеже тысячелетий / А.В. Лукичев, А.Л. Сотников / Машинознавство. Матеріали 2-ої регіональної наук.-метод. конф. – Донецьк: ДонГТУ, 2000. – С. 96-97.
3. Краснова, Т.И. Повышение качества обучения в вузе в условиях интеграции смешанной модели обучения // Молодой ученый. – 2015. – №5. – С. 484-486.
4. Сотников, А.Л. Курс дистанционного обучения «Основы подготовки публичного выступления и наукоемкой публикации». – Д.: ДонНТУ, 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа – https://0713019870.grandclass.net
5. Еронько, С.П. Опыт альтернативной практической подготовки студентов-механиков в ДонНТУ / С.П. Еронько, А.Л. Сотников, В.А. Булахов, С.И. Авакумов // Проблеми і перспективи працевлаштування випускників вищих навчальних закладів. Матеріали 4-ої Міжн. наук.-практ. конф. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – С. 245-248.
6. Еронько С.П. Роль технических творческих конкурсов в повышении качества образования и трудоустройстве выпускников вузов / С.П. Еронько, А.Л. Сотников, С.И. Аввакумов, Н.А. Родионов // Проблеми і перспективи працевлаштування випускників вищих навчальних закладів. Матеріали 6-ої Міжн. наук.-практ. конф. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – С. 104-106.
7. Еронько, С.П. Альтернативная практическая подготовка студентов-механиков в Донецком национальном техническом университете / С.П. Еронько, А.Л. Сотников, В.А. Булахов, С.И. Авакумов // Университетский образовательный округ: от школы к бизнес-сообществу путем инноваций. 80 лет УГЛТУ – опыт высшего лесотехнического образования на Урале. Материалы межд. науч.-метод. конф. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2010. – С. 205-208.
8. Еронько, С.П. Новые подходы к организации технической подготовки инженеров-механиков / С.П. Еронько, А.Л. Сотников // Інженерна освіта у розвитку сучасного суспільства: Матеріали міжн. наук.-практ. конф., м. Донецьк, 30 травня – 01 червня 2011 р. – Донецьк: ДонНТУ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, 2011. – 20-23 с.
9. Сотников, А.Л. Подготовка специалистов по технической диагностике в Донецком национальном техническом университете / А.Л. Сотников, С.И. Аввакумов // Теория и практика технического диагностирования оборудования предприятий металлургических и энергетических комплексов. Тезисы межд. науч.-практ. конф. Мариуполь 2012. – Мариуполь: ПАО «ММК им. Ильича», 2012. – 59 с.

Сведения об авторах

А.Л. Сотников
SPIN-код: 5203-7480
Author ID: 623331
Researcher ID: P-4344-2015
ORCID iD: 0000-0002-4537-858X
Телефон: +380 (71) 301-98-70
Эл. почта: 0713019870@mail.ru

И.Ф. Муханова
Телефон: +380 (71) 334-94-45
Эл. почта: mukaovai@mail.ru

Статья поступила 01.09.2018 г.
© А.Л. Сотников, И.Ф. Муханова, 2018

УДК 621.926.9

Д.А. Власенко, Э.П. Левченко /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический университет» (Алчевск)

ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ СЫРЬЯ НА КИНЕМАТИКУ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И МАТЕРИАЛА В МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ

На основании второго закона Ньютона и статической теории удара Герца разработана математическая модель движения молотка и частицы материала в процессе соударения в молотковой дробилке. В результате исследований определены зависимости угла отклонения молотка относительно радиального положения и величины сдвига при скольжении частицы по ударной поверхности в процессе дробления флюсов различного фракционного состава при подготовке шихты в условиях производства агломерата.

***Ключевые слова**: молотковая дробилка, молоток, угол отклонения молотка, величина сдвига частицы материала по ударной поверхности.*

Постановка проблемы

Процессы дробления являются довольно распространенными в различных отраслях промышленности, в частности в металлургии черных металлов. На металлургических предприятиях они применяются для предварительной подготовки агломерационных флюсов и твердого топлива путем измельчения исходного сырья до необходимого фракционного состава в производстве агломерата для выплавки чугуна.

Однако эти процессы являются весьма энергоемкими и сопряжены с большой потерей металла из-за интенсивного износа молотков в процессе эксплуатации дробильных машин.

Поэтому изучение и усовершенствование данного направления с целью увеличения срока службы отдельных рабочих органов и узлов молотковых дробилок (в частности молотков), а также повышения производительности самого процесса дробления являются весьма актуальными и существенно влияют на технико-экономические показатели процесса агломерации шихтовых материалов в металлургии.

Анализ последних исследований и публикаций

Основным оборудованием при дроблении флюсов в агломерационном производстве являются молотковые дробилки ударного типа с горизонтальным расположением ротора [1,2]. Благодаря простоте конструкции, надежности в работе и удобству в обслуживании при эксплуатации они нашли широкое применение.

Слабым звеном в данном типе дробильных машин является рабочий узел, состоящий из вала, дисков ротора, осей подвеса и молотков [1,2]. Из опыта работы металлургических предприятий известно, что срок службы молотков в зависимости от свойств перерабатываемого материала составляет от 170 до 530 часов. Такой относительно малый срок работы приводит к повышенному расходу оборотных средств на закупку и изготовление сменных деталей и узлов, а также к увеличению времени технологических простоев за счет большого количества технических обслуживаний (ТО) на замену изношенных узлов (около 20 ТО в год) [3].

Из опыта эксплуатации молотковых дробилок в условиях агломерационного цеха Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (бывшее ПАО «Алчевский металлургический комбинат») известно, что срок службы молотков в зависимости от различных условий (используемого сырья, влажности материала, фракционного состава и т.д.) составляет от 400 до 500 часов [4]. Рабочий ресурс других элементов дробилки на несколько порядков выше. Таким образом, самым быстро изнашиваемым звеном в дробилке является молоток, в частности, его ударная поверхность, непосредственно взаимодействующая с частицами материала.

Как показывает анализ научных работ, посвященных данной теме [5,6,7], большое внимание уделяется конструктивным изменениям рабочих органов дробилок, их конструктивно-режимных параметров, прочностных характеристик и энергоемкости процессов дробления.

Цель (задачи) исследования

Задачей данного исследования является определение углового положения молотков относительно своего радиального положения в ко-

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

нечной стадии удара по частице и величины сдвига частицы материала в результате смещения относительно ударной поверхности при взаимном контакте, а также определение их влияния на износ молотка и производительность процесса дробления флюсов в дробилке ДМРиЭ 14,5×13 [8] во время подготовки шихтовых компонентов в условиях агломерационного цеха Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» при комбинированном и обычном, шарнирном независимом способах крепления молотков на оси подвеса ротора [9,10].

Основной материал исследования

Известен способ установки молотков ротора в молотковой дробилке, предполагающий шарнирную установку молотков на оси подвеса, который реализован в молотковой дробилке [1,2].

Основным недостатком этого способа являются лишние затраты энергии при дроблении вследствие большого отклонения молотков от их радиального положения при ударе [11].

Предлагаемый комбинированный способ реализуется в следующем: все молотки устанавливаются на оси подвеса жестко, как показано на рис. 1 (за счет некруглой формы отверстия молотка и оси), в то же время ось в отверстиях ротора не фиксируется.

Для сравнительного анализа эффективности применения комбинированного и шарнирного способов крепления в молотковой дробилке используем математическую модель, основанную на использовании второго закона Ньютона (дифференциального закона механического движения) и статической теории удара Герца.

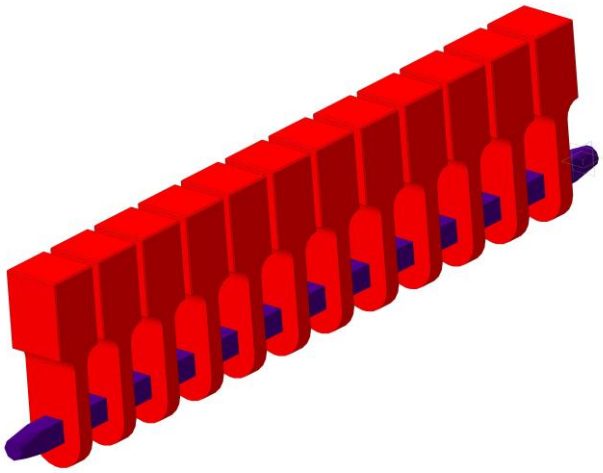
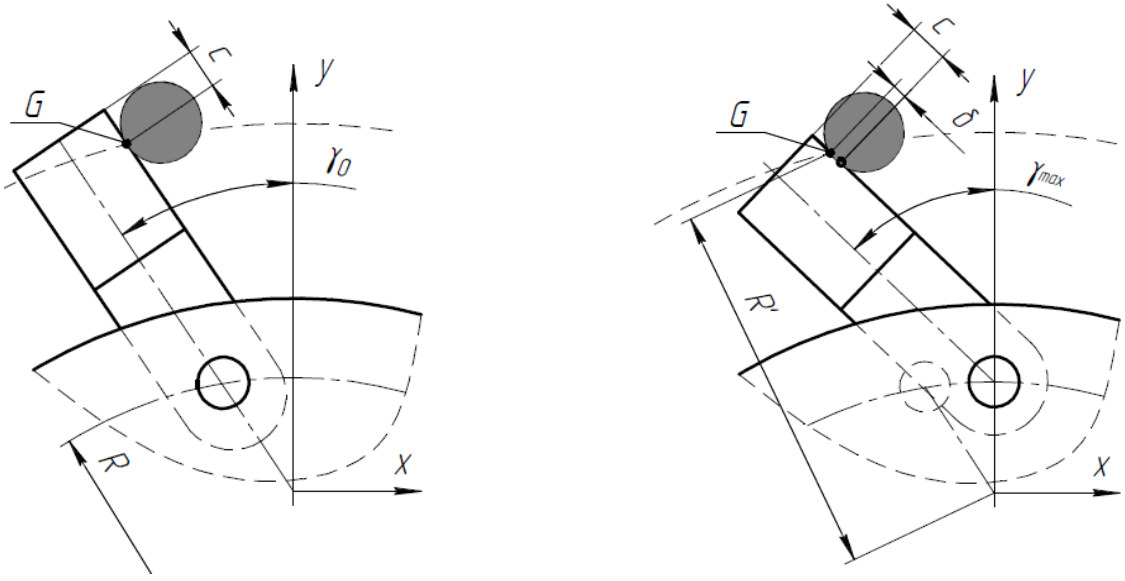


Рис. 1. Схема установки молотков при комбинированном способе крепления на оси подвеса

Классическая теория удара упругих тел вытекает непосредственно из его статической теории контакта. То есть относительная скорость тел при соударении равна нулю, и центр соударения (точка G) остается неподвижным [12,13] (рис. 2). В случае применения данной теории в условиях молотковой дробилки используется система, состоящая из двух взаимосвязанных шарниров, вращающихся относительно центров вращения ротора (рабочая зона молотков с радиусом вращения – R') и оси подвеса молотков (радиус подвеса – R), где положение точки соударения в координатных осях x и y остается неизменным.

Учитывая эти закономерности, предположим, что в процессе соударения происходит



а б

Рис. 2. Схематическая модель ударного контакта частицы материала и молотка: *а* – в начальной стадии удара; *б* – в конечной стадии удара

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

отклонение молотка от его радиального положения на угол γ и смещение точки контакта частицы по ударной поверхности на расстояние δ за счет вращательного движения системы.

Для определения угла отклонения молотков необходимо исследовать процесс одиночных ударов молотков дробилки в момент контакта ударной поверхности с частицей материала.

Рассмотрим обратную задачу – частица материала с определенной скоростью ударяет по неподвижному молотку. В момент удара молоток получает начальную скорость, зависящую от массы частицы материала, скорости ее движения и момента инерции молотка. Предположим, что происходит абсолютно неупругий, центральный удар. Расчетная схема имеет вид, представленный на рис. 2.

Представим частицу материала в виде условно сосредоточенной массы m_2, а молоток в виде условного стержня массой m_1, в этом случае переносим центр соударения в условную точку А на оси молотка (рис. 3).

Для определения начальной скорости, приобретаемой точкой А после удара об молоток частицы материала, движущейся со скоростью v_2, можно воспользоваться законом сохранения кинетической энергии и законом сохранения импульса тел, вступающих во взаимодействие [14]. Исходя из этого, формула для определения скорости движения молотка в конечной стадии соударения (когда центры масс удалятся друг от друга) выглядит как:

$$v_1' = v_2 \frac{2m_2}{nm_1 + m_2}, \qquad (1)$$

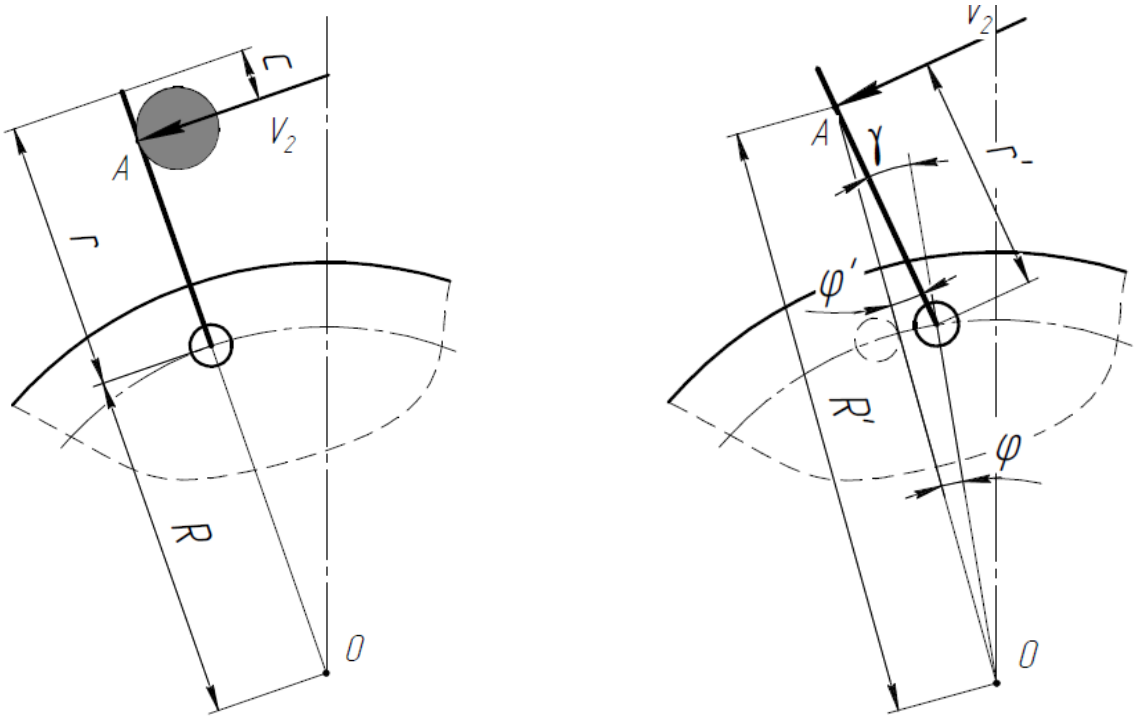
где n – количество неподвижно установленных молотков в ряду на оси подвеса. В этом случае на материал воздействует суммарная сила удара всех молотков в ряду, следовательно, необходимо учитывать массу всего ряда молотков.

После определения начальной скорости и окончания фазы соударения молоток отклоняется на угол γ, который может быть определен исходя из дифференциального уравнения движения после завершения удара:

$$J_м \ddot{\gamma} + m_1 \omega^2 R'(r - c)\sin\gamma = 0, \qquad (2)$$

где J_m – момент инерции молотка; ω – угловая скорость вращения ротора; r – расстояние от оси подвеса до внешней грани ударной части молотка; c – расстояние (глубина) внедрения измельчаемой частицы в рабочую зону ротора [15].

Поскольку угол γ предполагается достаточно малым, то можно принять, что sinγ=γ, $R'=R+r-c$ [16]. В этом случае общее решение дифференциального уравнения можно записать как:



а б

Рис. 3. Расчетная схема для определения угла отклонения молотка в момент соударения с частицей материала:
а – в начальной стадии удара; *б* – в конечной стадии удара

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

$$\gamma = C_1 \sin\sqrt{\omega_1}t + C_2 \cos\sqrt{\omega_1}t\,, \qquad (3)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования;

$$\omega_1 = \frac{\omega^2 (R + r - c)(r - c)}{r_u^2}.$$

С использованием начальных значений: t=0, γ=0, $\dot{\gamma} = \frac{v_1'}{r-c}$ формула (3) приобретает вид:

$$\gamma = \frac{v_1'}{(r-c)\sqrt{\omega_1}}(\sin\omega_1 t). \qquad (4)$$

Учитывая, что максимальное значение sinγ принимает при $\omega' t = \frac{\pi}{2}$, и подставив значение v_2', получаем формулу для определения угла отклонения молотка при соударении с частицей материала:

$$\gamma_{\max} = \left(1 + \frac{R}{r-c}\right) \frac{2m_2}{(nm_1 + m_2)\sqrt{\frac{(r-c)(R+r-c)}{r_u^2}}}, \qquad (5)$$

где r_u – радиус инерции молотка относительно оси подвеса.

Для наглядного сравнения значений угла отклонения при комбинированной и шарнирной подвеске молотков приведены графические зависимости угла отклонения молотка от массы кусков известняка и способа установки бил (рис. 4).

При ударе происходит сдвиг частицы материала вдоль поверхности скольжения. Из треугольника, образованного сторонами R', R, r' (см. рис. 2б), с учетом того, что точка контакта остается неподвижной, находим расстояние, на которое сместится частица по бойку в процессе ударного контакта, которое определяется по следующей формуле:

$$\delta = (R^2 \cos 2\gamma + R'^2 - R(R^2(\cos^2 2\gamma - 1) + 4R'^2 \cos^2\gamma)^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}} - r - c. \qquad (6)$$

Показатели смещения дробимого материала по рабочей поверхности бойка в зависимости от угла отклонения молотка в процессе ударного контакта в первой стадии дробления отображены на графике (рис. 5).

Проанализировав полученные результаты, можно предположить, что при увеличении угла наклона молотка в направлении противоположном вращению ротора резко возрастет величина сдвига частицы по его рабочей части и в связи с

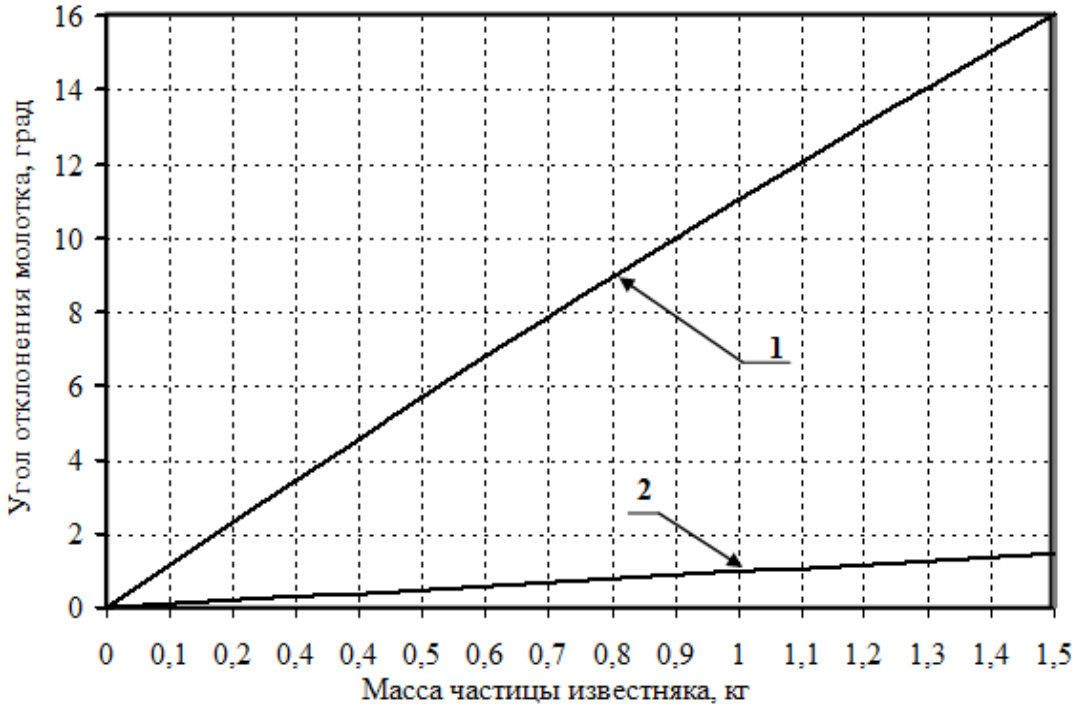


Рис. 4. Графики зависимости угла отклонения молотков с комбинированным и шарнирным способами установки на оси подвеса при соударении с частицей флюса различной массы:
1 – обычный шарнирный способ; *2* – комбинированный способ

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

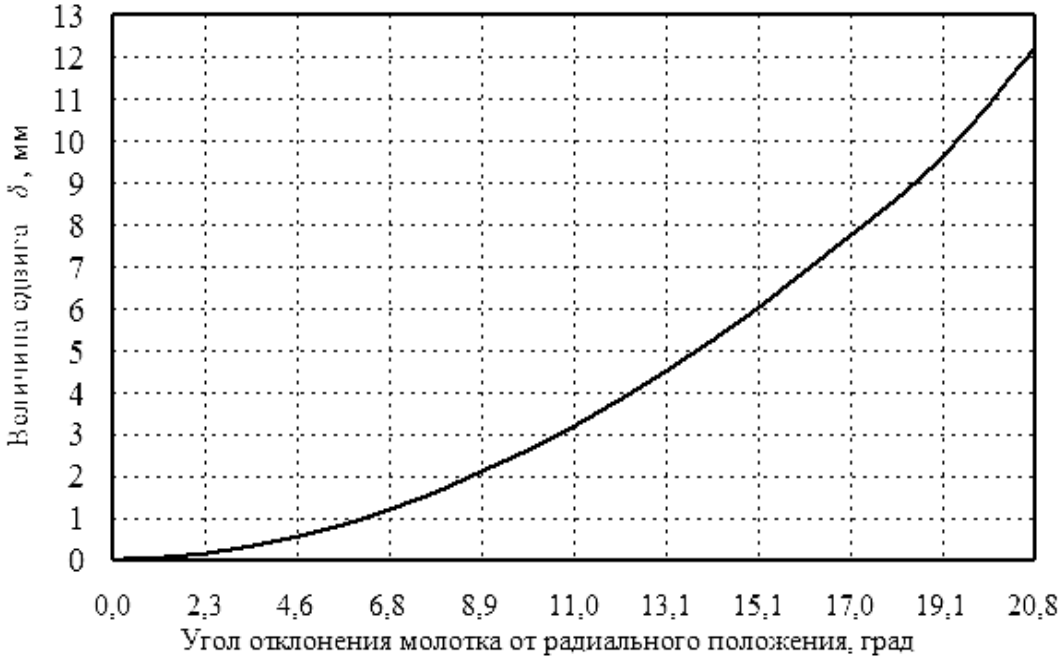


Рис. 5. График зависимости величины сдвига частицы материала по поверхности молотка при различных углах отклонения молотков

этим увеличится степень износа за счет трения, возникающего при скольжении куска сырья по ударной поверхности.

В ходе производственного эксперимента в условиях участка подготовки шихты агломерационного цеха Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» были проведены промышленные испытания дробилки ДМРиЭ 14,5×13 в течение 30 суток. Технико-эксплуатационные характеристики дробилки при проведении эксперимента: масса молотка – 17,6 кг, радиус подвеса молотка – 0,43 м, расстояние от оси подвеса до внешней грани ударной части молотка – 0,295 м, глубина внедрения частицы материала в рабочую зону молотков – 0,068 м, количество молотков, установленных на оси, – 12.

При испытаниях использовались обычный шарнирный и новый комбинированный способ установки молотков на оси подвеса.

В качестве дробимого материала использовался известняк фракцией – 40…80 мм, масса отдельных частиц которого варьируется в пределах 0,1…0,75 кг (при влажности – 4 % и насыпном весе – 2800 кг/м^3).

Результаты производственных испытаний по определению степени износа рабочих органов дробилки представлены в табл. 1.

Из анализа показателей степени износа рабочих органов в процессе эксплуатации видно, что его интенсивность существенно уменьшилась. Это указывает на то, что величина сдвига частицы материала по поверхности бойка молотка при комбинированном способе подвеса существенно ниже.

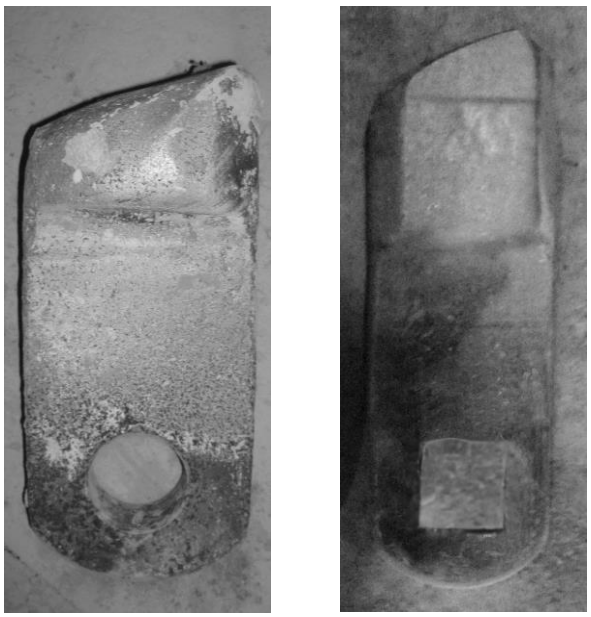
Уменьшение износа распорной балки указывает на то, что траектория движения куска флюса в направлении вращения ротора при уменьшении угла отклонения молотков за счет использования нового способа крепления в значительной степени исключает возможность попадания частиц материала в распорную балку (рис. 6).

В свою очередь, увеличение износа отбойной плиты и колосников указывает на то, что большая часть материала после соударения с билами движется в направлении отбойной плиты, а не возвращается в рабочую зону молотков после удара о распорную балку.

Табл. 1. Ориентировочные кинематические показатели молотка и частицы материала и степень износа рабочих узлов и в процессе эксплуатации дробилки ДМРиЭ 14,5×13

До внедрения комбинированной конструкции крепления молотков		После внедрения
Кинематические показатели молотка и частицы материала		
Ориентировочная величина сдвига, мм	0,17…2,1	0,01…0,08
Угол отклонения, град.	1,2…8,4	0,1…0,4
Степень износа элементов дробилки, мм/сут.		
Молотки	4,15	3,1
Распорная балка	0,85	0,5
Отбойная плита	0,055	0,085
Колосники	0,46	0,51

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



а б

Рис. 5. Форма и степень износа молотков при различных способах крепления на оси подвеса в процессе эксплуатации молотковой дробилки:
а – шарнирный способ крепления;
б – комбинированный способ

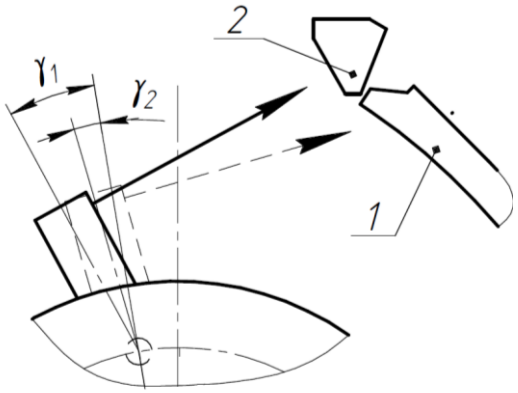


Рис. 6. Схема движения частицы после стадии соударения с молотками: *1* – отбойная плита; *2* – распорная балка; γ_1 – угол отклонения при шарнирной установке молотков; γ_2 – угол отклонения при комбинированном способе

Помимо снижения интенсивности истирания при использовании предложенного комбинированного способа установки молотков в дробилке, изменилась форма износа бойка (см. рис. 5) – уменьшилось истирание торцевой поверхности молотков в процессе эксплуатации. Что дополнительно указывает на снижение величины угла сдвига δ и уменьшение интенсивности износа рабочей поверхности. Из анализа показателей степени износа в процессе работы молотковой дробилки следует, что роторные дробильно-измельчительные машины ударного действия с предложенным новым комбинированным способом крепления молотков с точки зрения эксплуатационных показателей являются более предпочтительными, чем дробильные машины с обычным шарнирным креплением молотков. С увеличением фракции известняка, подаваемого на дробление, угол отклонения молотка и величина сдвига частицы по поверхности бойка при обычном шарнирном подвесе молотков резко увеличиваются. Комбинированный же способ их крепления позволяет существенно уменьшить этот угол. Тем самым, при использовании новой конструкции крепления увеличивается срок службы отдельных рабочих органов дробилки: молотков – в 1,3 раза, распорной балки – в 1,7 раза. Также в процессе эксперимента наблюдались прирост удельной производительности дробилки (после отсева на виброгрохоте с ситами 5 мм) в среднем на 15…20 %, увеличение степени дробления, снижение крупности готовой продукции и удельных энергозатрат на дробление материала (табл. 2).

Таким образом, для дальнейших исследований перспективным направлением является метод комбинационного синтеза дробильно-измельчительных машин ударного действия, направленный на реализацию сочетания достоинств в одном устройстве машин роторного и молоткового типов. В настоящее время такие работы проводятся в Донбасском государственном техническом университете с привязкой к агломерационному производству Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис».

Табл. 2. Эксплуатационные показатели процесса дробления в молотковой дробилке с использованием комбинированного и шарнирного способов крепления молотков

Вариант крепления	Кол-во подаваемого материала в дробилку, т/час	Содержание фракций (мм) в готовом продукте, %			Степень дробления	Удельная производительность, т/час	Удельные энергозатраты, кВтч/т
		5-10	3-5	0-3			
Шарнирное	63,62	46,3	16,8	36,9	9,72	34,16	24,03
Комбинированное	63,91	35,4	23,3	41,3	10,25	41,28	19,23

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

Выводы

Угол отклонения шарнирно подвешенного молотка в конечной фазе соударения в молотковой дробилке существенно возрастает при увеличении фракции дробимого материала, а при комбинированном креплении изменяется незначительно. При увеличении угла повышается износ рабочей поверхности молотков за счет скольжения частицы флюса по ударной поверхности. При шарнирном креплении траектория движения материала в рабочем пространстве дробилки не обеспечивает попадания преобладающего количества кусков материала в зону отбойной плиты, что снижает эффективность измельчения. Таким образом, при использовании новой конструкции крепления бил уменьшается износ рабочих органов дробилки и повышается срок их эксплуатации.

Производительность молотковых дробилок с комбинированной заделкой молотков на оси ротора является более высокой, чем дробилок с шарнирным креплением.

Перспективным направлением диспергирования флюсов с точки зрения повышения эксплуатационных характеристик молотковых дробилок является синтез их новых конструкций, совмещающих в себе комбинацию жесткого крепления молотков в подвесе при возможности их предохранения от разрушения, например, за счет потери жесткости в момент контакта с недробимыми телами.

Список литературы

1. Борщев, В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы. – Тамбов: издательство ТГТУ, 2004. – 75 с.
2. Wolfgang, P. Agglomeration Processes: Phenomena, Technologies, Equipment. – Weinheim: Wiley-VCH, 2002. – 614 p.
3. Брусова, О.М. Повышение эффективности молотковых дробилок за счет обоснования рациональных параметров рабочего органа: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.05.06 / Брусова Ольга Михайловна; УГГУ. – Екатеринбург, 2012. – 20 с.
4. Власенко, Д.А. Способы снижения износа молотков дробилок ударного действия / Д.А. Власенко [и др.] // Современные материалы, техника и технологии. – 2016. – №2(5). – С. 63-68.
5. Сандыков, Э.С. Оптимизация и совершенствование технологических схем добычи и переработки известняков на основе их более полного и комплексного использования: дис. … канд. техн. наук: 25.00.21 / Садыков Эргестан Сабиржанович; ЮРГТУ. – Новочеркасск, 2002. – 131 с.
6. Lakshmi Shamvardhini Sydanna, T.R. Manufacturing with design and analysis of rotor shaft of hammer mill crusher / International Journal of Science. Engineering and Technology Research (IJSETR). –2017 – No5. – P. 877-881.
7. Черепков, А.В. Совершенствование процесса измельчения зерна с обоснованием конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки: дис. …. канд. техн. наук: 05. 20.01 / Черепков Александр Викторович. – Орел: ОГАУ, 2016. – 152 с.
8. ГОСТ 7090-72. Дробилки молотковые однороторные. Технические условия. Введ. 01.01.1973. Переизд. 01.01.1995. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 14 с.
9. Власенко, Д.А. Энергозатраты ударных дробилок с жестким и шарнирным креплением бил к ротору / Д.А. Власенко, О.И. Павлиненко, Э.П. Левченко // Вестник ДонНТУ. – 2016. – №3. – С. 21-26.
10. Пат. 111218 Україна, МПК B02C 13/04. Ротор молоткової дробарки / Д.А. Власенко, Е.П. Левченко; заявитель и патентообладатель Д.А. Власенко, Е.П. Левченко. № u 2016 03 005; заявл. 23.03.16; опубл. 10.11.16. Бюл. №21. – 4 с.
11. Малич, Н.Г. Анализ и перспективы отечественных машин для дробления твердых материалов / Н.Г. Малич, В.С. Блохин, А.О. Дегтярев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №1. – С. 365-380.
12. Hertz, H. Über die Berührung fester elastischer Körper / H. Hertz // Journal fur die reine und angewandte Mathematik. – Iss.92. – Vol.1882. – 2009. – S. 156-171.
13. Laursen, T.A. Computational Contact and Impact Mechanics: Fundamentals of Modeling Interfacial Phenomena in Nonlinear Finite Element Analysis. – New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002. – 454 p.
14. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1995. – 416 с.
15. Власенко, Д.А. Влияние параметров подачи материала в рабочую зону молотковой дробилки на условия процесса соударения / Д.А. Власенко, Э.П. Левченко // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2018. – Вып.51. – С. 140-144.
16. Сидашенко, А.И. Теоретическое и экспериментальное определение угла отклонения молотка в момент удара о материал // Прогрессивные технологические способы и процессы восстановления деталей сельскохозяйственной техники. – М.: МИИСП, 1984. – Вып.14. – С.37-42.

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

D.A. Vlasenko, E.P. Levchenko /Cand. Sci. (Eng.)/
Donbass State Technical University (Alchevsk)

THE EFFECT OF PARTICLE SIZE OF RAW MATERIALS ON THE KINEMATICS OF WORKING BODIES AND MATERIAL IN HAMMER CRUSHER

Background. *Crushing processes are very energy-intensive and involve a large loss of metal due to wear of working elements in the operation of crushing machines. This fact determines the importance of studying and improving these processes in order to increase the service life of individual working bodies and units of hammer mills and increase the productivity of crushing machines.*
Materials and/or methods. *The used mathematical model based on Newton's second law (the differential law of mechanical motion) and Hertz's static shock theory. The aim of this study is to determine the angular position of the hammers relatively to their radial position in the final stage of impact on the particle and the shift values of the material under the displacement relative to the working surface of the hammer at the impact contact in the crusher in the process of preparing fluxes with the combined and hinge mount of a beater on the suspension axis of the rotor.*
Results. *The results obtained of the mathematical modeling of the process of hammer and particle collision with the combined and hinge attachment of the hammers to the suspension axis of the rotor. Determined the dependence of the values of the deflection angle and the shift of particles on the hammer impact surface on the fractional composition of the crushed material in the process of collision. The values of wear of the working bodies of the hammer crusher in the course of industrial experiment determined.*
Conclusion. *The deflection angle of a pivotally suspended hammer in the final phase of collision in the hammer mill increases significantly with increasing the fraction of the crushed material, and not significantly changed with the combined attachment. As the angle value increases, the wear of the working surface of the hammer increased by sliding the flux particle along the working surface of the hammer. With the hinge attachment, the trajectory of the material in the working space of the crusher does not provide the entry of the dominant number of material pieces in the area of a bumper plate. Thus, when using a new design of hammer attachment, the wear of individual working bodies of the crusher reduced and the service life increased. The performance of hammer crushers with a combined mount of hammers on the rotor axis is higher compared to crushers having their hinge mount.*

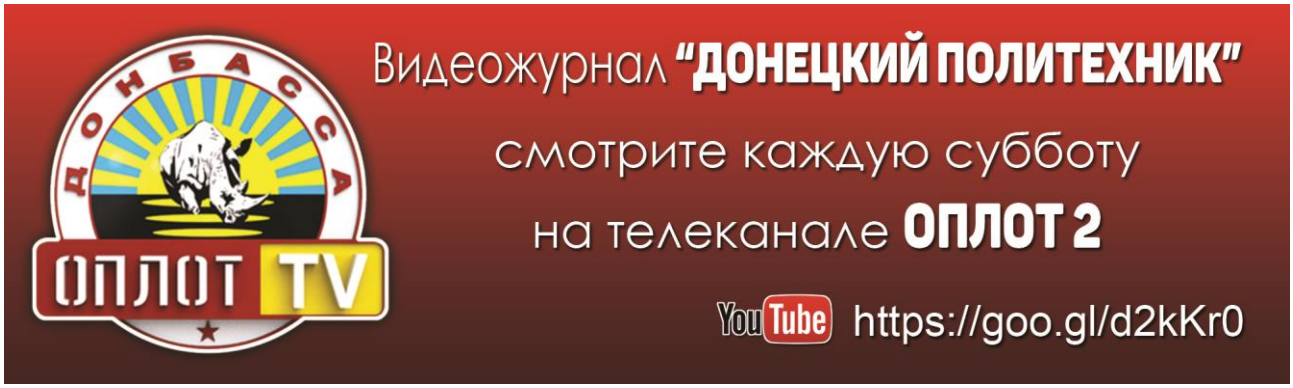
Keywords: *hammer crusher, hammer, deflection angle, the shift value of the particles at the impact surface.*

Сведения об авторах

Д.А. Власенко
SPIN-код: 6296-2040
Телефон: +380 (72) 112-82-33
Эл. почта: vlasdmitrij@yandex.ru

Э.П. Левченко
Телефон: +380 (72) 154-74-30
Эл. почта: levchenckoeduard@yandex.ua

Статья поступила 13.03.2018 г.
© Д.А. Власенко, Э.П. Левченко, 2018
Рецензент д.т.н., доц. Н.А. Ченцов



УДК 622.012.7

М.П. Кондратенко
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРНЫХ МАШИН ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

В статье рассмотрены вопросы производства высококачественных горных машин с выполнением требований международного стандарта ИСО 9001-2015. Определены специфические особенности отрасли горного машиностроения и требования потребителей к продукции. Установлены основные организационно-технические мероприятия по интеграции системы менеджмента качества в организациях горного машиностроения и приведен комплексный анализ особенностей их проведения с целью обеспечения устойчивого развития производства высококачественной продукции.

Ключевые слова: *горные машины, производство, качество, требования, система менеджмента качества, международный стандарт.*

Постановка проблемы

Производство высококачественных горных машин способствует развитию не только машиностроительной отрасли, но и тесно связанной с ней горной отрасли, поэтому вопрос повышения качества и конкурентоспособности является решающим фактором, влияющим на спрос продукции горного машиностроения. Ряд проблем машиностроительной отрасли, затрагивающих также и горное машиностроение, сказывается на производстве продукции недостаточно высокого или низкого качества, и их решение требует проведения структурной реорганизации, модернизации оборудования и проведения других мероприятий в комплексе [1].

В международной практике все большее внимание уделяется разработке и внедрению системы менеджмента качества (СМК), основанной на международных стандартах ISO серии 9000 (International Organization for Standardization – Международная организация по стандартизации), которая признана эффективным инструментом для повышения качества и конкурентоспособности продукции. Во многих странах приняты национальные стандарты, идентичные международным, как например, национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

Заинтересованность во внедрении сертифицированной СМК у производителя объясняется открывающимися возможностями совершенствовать производство, повышать эффективность своей деятельности, выходить на новые рынки сбыта, налаживать международное сотрудничество. Для предприятий становится нормой иметь прошедшую экспертизу (сертифицированную) СМК, которая широко применяется в таких областях как авиация, автомобильный транспорт, здравоохранение, телекоммуникации, образование и др. Однако использование такого инструмента организациями, производящими горные машины, вызывает ряд трудностей, связанных с отсутствием знаний и сведений методического характера для построения эффективной СМК, а также отсутствием отраслевого стандарта, дополняющего, с учетом специфических особенностей отрасли, общие для всех отраслей нормы ИСО 9001-2015 (как, например, для авиации и автомобильного транспорта).

Применение СМК является стратегическим решением, и при рассмотрении вопроса разработки и внедрения СМК в организации руководству следует оценивать наличие внешних факторов, связанных с изменением конкурентной ситуации на рынках и требованиями потребителей, и внутренних, связанных с сознанием необходимости выполнять все требования международного стандарта, которые, вероятнее всего, повлекут кардинальные изменения в устоявшихся процессах производства. Поэтому, вопрос повышения качества продукции путем интеграции СМК в организациях, производящих горные машины, является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций

Исследованиям по повышению качества горных машин посвящено ряд работ. Частота и анализ отказов процесса работы горных машин были представлены и проиллюстрированы на примере угольных шахт в работах [2,3]. Авторами рассматривается вопрос повышения качества

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

горных машин путем использования такого инструмента управления качеством, как диаграмма Парето. В работе [4] исследованы основополагающие концепции управления качеством промышленного предприятия и предложен логистический подход для устранения излишних расходов. Исследованиям и оценке результативности используемой системы управления качеством на промышленных предприятиях посвящены работы [5,6,7]. Вопросам использования СМК как инструмента управления производством высококачественной продукции посвящены работы [8,9]. Обзор состояния сертификации по стандартам серии ISO 9000 на предприятиях и проблемы менеджмента качества исследованы в работах [10,11]. Вместе с тем в указанных трудах не проводился комплексный анализ особенностей деятельности организаций горного машиностроения в рамках использования СМК и недостаточно изученными остаются вопросы производства высококачественной продукции горного машиностроения с выполнением требований стандарта ИСО 9001-2015, что подтверждает актуальность вопроса.

Цель (задачи) исследования

Целью статьи является проведение комплексного анализа особенностей построения СМК в организациях горного машиностроения, обеспечивающей устойчивое производство высококачественных горных машин с выполнением требований стандарта ИСО 9001-2015.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

– определить особенности отрасли горного машиностроения и требования к продукции, которые следует учесть при разработке СМК;

– определить особенности выполнения важных требований и принципов стандарта ИСО 9001-2015 для организаций горного машиностроения;

– установить основные организационно-технические мероприятия по интеграции СМК и особенности их проведения для отрасли горного машиностроения.

Основной материал исследования

Горное машиностроение очень сложная высокотехнологичная отрасль, и при создании эффективной СМК в организациях очень важно учесть внешние особенности производства, внутренние особенности предприятия, особенности эксплуатации продукции, требования к горным машинам. К внешним особенностям производства горных машин можно отнести тесную взаимосвязь с металлургической и горной отраслями, близость к потребителям, близость к источникам сырья (металл, энергоресурсы), востребованность в проведении НИР и ОКР, высокую конкуренцию на мировом рынке. К внутренним особенностям можно отнести организационную структуру, численность персонала, производственную базу и оборудование, законодательные нормы и т.п. К эксплуатационным особенностям можно отнести горно-геологические и погодно-климатические условия эксплуатации, полноту и качество эксплуатационно-ремонтной документации, организацию технического обслуживания и ремонта. К основным неблагоприятным факторам эксплуатационной среды, снижающим качество продукции, относятся: вредное воздействие запыленной, влажной, агрессивной, взрывоопасной или высокотемпературной внешней среды; высокая динамическая загруженность; сложность выполнения работ по техническому обслуживанию.

К горным машинам предъявляется ряд серьезных требований:

– технико-экономические, обеспечивающие высокий технический уровень и конкурентоспособность машины, которая определяется качеством изделия в целом, себестоимостью, производительностью, материалоемкостью, энергозатратами, удобством пользования;

– эксплуатационные, обеспечивающие эффективное функционирование и работоспособность горных машин, возможность своевременного и качественного проведения технического обслуживания и ремонтов;

– социальные, обеспечивающие максимальную безопасность обслуживания, комфортность, минимизацию ручного труда.

Для обеспечения безаварийной работы с минимальными простоями горные машины должны обладать высоким качеством, т.е. совокупностью свойств, обуславливающих их пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с их назначением. Качество горных машин можно также определить как совокупность предусмотренных стандартами и нормативными документами свойств, обуславливающих степень ее пригодности для использования по назначению в определенных условиях.

Количественную характеристику одного или нескольких свойств горных машин, составляющих их качество, рассматриваемую применительно к определенным условиям эксплуатации, называют показателем качества, номенклатура которых, как правило, определена ГОСТом. Основными показателями качества горных машин, на которые следует обратить особое внимание при разработке СМК, являются надежность, тех-

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

нологичность, транспортабельность, безопасность, стандартизация и унификация, эргономичность, экологичность и эстетичность. Оценка качества горного оборудования приведена в работе [12]. Надежность горных машин является сложным свойством, которое состоит из сочетаний свойств: безотказности, ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости. Показатели безопасности характеризуют особенности горной машины, обусловливающие при ее эксплуатации безопасность обслуживающего персонала. Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность машины стандартными и унифицированными частями, узлами и целыми агрегатами, что позволяет комплектовать машины различных типоразмеров из однотипных частей и агрегатов, повысить надежность машины, снизить трудоемкость изготовления и стоимость ремонта.

Таким образом, для создания и внедрения СМК в первую очередь требуется рассмотреть влияние приведенных особенностей отрасли на производство качественной продукции, соответствующей предъявляемым требованиям.

При разработке СМК следует определить область ее действия и определить особенности соблюдения принципов и требований стандарта ИСО 9001-2015, в число которых входит использование процессного подхода (определение процессов, необходимых для функционирования СМК и ее применения), применение риск-менеджмента (концепция риск-ориентированного мышления), документирование процессов и информации о качестве, управление знаниями, хранение соответствующей информации, применение отраслевых законодательных и регламентирующих норм, наличие инфраструктуры и др.

При применении процессного подхода следует рассмотреть производство как систему допроизводственных, производственных и послепроизводственных процессов. Организация должна определить процессы, необходимые для СМК, и, кроме этого, определить вид процессов, их последовательность и взаимодействие, ожидаемый результат, необходимые ресурсы, ответственность, регламент процесса. Для организаций горного машиностроения при определении процессов важно учесть тип производства (серийное или опытное производство), технико-экономические и эксплуатационные особенности, затраты труда, времени и средств на выполнение процессов, характеризующих уровень совершенства производства машин. Многие организации при определении процессов стараются подчинить их уже сформировавшейся структуре производства, считая нецелесообразным менять устоявшиеся правила, которые зачастую снижают уровень качества продукции. В организациях горного машиностроения формальный подход к этому требованию может привести к внедрению нерезультативной СМК.

Риск-ориентированное мышление необходимо для достижения результативности СМК в предотвращении неблагоприятных последствий. Процесс осуществления действий, связанных рисками и возможностями, может включать обмен информацией и консультирование с внешними и внутренними заинтересованными сторонами; определение ситуации; идентификацию риска; анализ риска; оценивание риска; воздействие на риск; мониторинг [11]. Безусловно, выполнение такого требования повысит эффективность производства предприятий горного машиностроения, однако существует проблема выбора методики расчета для анализа рисков процессов менеджмента, так как часть из них либо сложны в вычислениях, либо их результаты некорректны.

Требование документирования процессов и информации значительно упрощает процессы и обеспечивает наличие четко обозначенных критериев качества, методики выполнения отдельных процессов, организационные взаимодействия на самых разных уровнях управления организациями, регламентацию последовательности действий какого-либо процесса. Документированные процедуры, как правило, оформляются стандартами организации и определяются как нормативный документ, содержащий в себе требования к выполнению какого-либо процесса, порядок его выполнения, опыт и знания организации. Документирование процессов является трудоемкой работой, однако это требование – важный аспект деятельности любой организации, которая нацелена на внедрение сертифицированной СМК.

Следующее требование, на которое важно обратить внимание, – управление знаниями. Организация должна определить знания для функционирования ее процессов, и процесс их приобретения и накопления. Для предприятий горного машиностроения разработка системы управления знаниями является, безусловно, одной из первоочередных задач, решение которой позволит не только повысить качество, но и обеспечит инновационную опережаемость продукции. Однако существуют проблемы разработки методики построения системы управления знаниями, которая должна обеспечивать создание накопительного хранилища знаний, быстрый и удобный поиск, доступность знаний для любого сотрудника. Важно учесть, что сотрудникам

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

организации должны быть предоставлены соответствующие знания об интеграции СМК. В работе [13] рассматриваются вопросы построения подсистемы знаний в области качества продукции.

Одним из важных факторов, влияющих на разработку процессов СМК, является требование полного соответствия продукции предприятий горного машиностроения существующим отраслевым стандартам и нормативно-технической документации на изделие. Применение международных стандартов на предприятии должно быть гармонизировано с государственными отраслевыми стандартами, что обуславливает необходимость при разработке СМК проведения предварительного анализа совместимости стандартов до их внедрения. Стандарты являются инструментом качества, и проведение анализа сопоставимости их требований достаточно трудоемко, поэтому целесообразно разработать и внести в СМК автоматизированную подсистему, выполняющую поиск сопоставимых требований. Проектирование и формулирование требований к автоматизированной системе поиска и сопоставимости требований стандарта приведено в работе [14]. Следует также учесть, что эксплуатация продукции организаций горного машиностроения осуществляется при строгом соблюдении правил безопасности на горных предприятиях.

Для соблюдения следующего требования – наличия инфраструктуры, необходимо рассмотреть здания, инженерные сети и системы; оборудование, включая технические и программные средства; транспортные ресурсы; информационные и коммуникационные технологии. Основной проблемой организаций данной отрасли являются морально и физически устаревшие производственные мощности, что негативно сказывается на объемах производства и конкурентоспособности продукции. Соблюдение данного требования в полной мере затрудняется потребностью в значительных материальных расходах на модернизацию оборудования, реконструкцию, техническое переоснащение с использованием современных технологий, однако позволит существенно повысить качество и другие технико-экономические показатели продукции, снизить риски производства, расширить ассортимент и рынок экспорта. Очевидным является заключение, что определяющим в СМК должно быть «железо», и лишь потом можно говорить о системе управления производством.

С учетом выявленных особенностей, присущих отрасли горного машиностроения и производству горных машин, а также требований, предъявляемых к СМК, основанной на базе ИСО 9001-2015, можно определить порядок проведения основополагающих организационно-технических мероприятий по интеграции СМК, обеспечивающей повышение качества и конкурентоспособности продукции (рис. 1).

Анализ среды организации – первый этап проведения организационных мероприятий при принятии решения разработки внедрения СМК для производства горных машин. Необходимость проведения данного мероприятия указана стандартом ИСО 9001-2015, положения которого требуют установить среду, т.е. провести мониторинг и анализ среды функционирования организации с учетом внешних факторов, связанных с рыночной, технологической, конкурентной, законодательной средой, и внутренних, связанных с результатами работы организации, ценностями, знаниями, кадрами организации. Учитывая рассмотренные внешние особенности производства, внутренние особенности предприятия, особенности эксплуатации, важно определить сильные и слабые стороны производственной деятельности, а также существующие возможности и угрозы.

При анализе среды организации следует определить важные факторы, относящиеся к ее намерениям и стратегическому направлению и влияющие на способность достигать высоких результатов СМК. К факторам, определяющим слабые стороны и угрозы для организаций горного машиностроения, можно отнести: экономическую нестабильность в стране, неспособность финансировать реструктуризацию; несовершенство механизма кредитования производителей и потребителей; влияние поставщиков на цену и качество продукции; неритмичную и неполную загрузку производственных мощностей; недостаточный ассортимент выпускаемой продукции; отсутствие поставленной работы по изучению рынка; низкую рентабельность; высокую изношенность производственного оборудования; низкие темпы технического перевооружения и модернизации производства; недостаточный контроль качества продукции; устаревшую и слабоуправляемую организационную структуру управления и т.п. К факторам, определяющим сильные стороны и возможности, можно отнести: высокую квалификацию производственного и управленческого персонала, хорошую репутацию у потребителей за счет приспособления производственных характеристик к горно-геологическим и погодно-климатическим условиям эксплуатации, таможенную и льготную защищенность от конкурентного давления в стране производителя.

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

Проведение мероприятий по анализу среды организации включает мониторинг и анализ массива информации и требует временных и материальных затрат. Однако игнорирование данного этапа является первоочередной причиной снижения эффективности СМК в организации.

Следующим основным этапом интеграции СМК является проведение организационно-технических мероприятий по выработке политики качества продукции, которые должны основываться на выводах анализа среды организации. Разработка высшим руководством политики качества продукции, ее реализация и поддержка является важным принципом, заложенным в стандарте ИСО 9001-2015.

Для организаций горного машиностроения разработка политики повышения качества горных машин должна соответствовать следующим принципам лидерства: принцип улучшения экономического положения самого производственного предприятия; принцип расширения или завоевания рынков сбыта; принцип ориентации на потребителей; принцип улучшения важнейших показателей качества продукции.

Программа повышения качества, отвечающая принципам лидерства, реализуется путем разработки новой высококачественной продукции; модернизации существующей продукции; снижения временных и материальных ресурсов на производство продукции.

Исходя из выявленных угроз и возможностей, следует определить сегмент рынка для достижения лидерства по качеству, т.е. определить ассортимент продукции, производство которой возможно или следует подчинить СМК, которая должна быть ориентирована на инновационное развитие и инновационную деятельность организации. Под инновационной деятельностью подразумевается активное использование новой техники и технологий производства и производство



Рис. 1. Порядок проведения основных организационно-технических мероприятий по интеграции СМК

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

новой высокотехнологичной продукции горного машиностроения, разработанной в процессе НИиОКР.

При выработке политики качества, с учетом насыщенности рынка высокотехнологичными горными машинами, важно принять за основу модернизацию производственного оборудования и техническое переоснащение с использованием современных ресурсосберегающих технологий, расширение ассортимента продукции, налаживание производства высокоэффективных машин новых поколений.

При проведении реорганизации следует устранить неэффективные устоявшиеся процессы производства. Производство продукции высокого качества, отвечающей рассмотренным в работе установленным нормативам и предъявляемым потребителями требованиям, – основная цель при выработке политики качества.

Политика качества должна быть реалистичной, экономически эффективной и соответствовать возможностям, способностям, ресурсам организации. Важным мероприятием в процессе разработки программы повышения качества продукции является оценка экономической эффективности затрат на улучшение качества продукции. Для этой цели затраты на реализацию программ улучшения качества продукции сравнивают с возможной прибылью от их осуществления, что позволит определить приоритеты развития. Затраты на качество выступают в роли внутренней экономической основы системы качества, позволяющей определять экономические последствия любых управленческих решений, принимаемых в СМК [9]. В то же время программа повышения качества продукции должна включать предупредительные организационно-технические мероприятия, снижающие уровень дефектности продукции и тесно связанные с повышением ее качества.

По выбранным целям и направлениям, заложенным в политику качества организации, можно определить область деятельности СМК и выявить процессы для ее функционирования, с соблюдением всех требований стандарта ИСО 9001-2015. Организационно-технические мероприятия по интеграции СМК заключаются в создании и поддержке среды для функционирования выявленных процессов и обеспечении необходимых ресурсов. Такими мероприятиями являются документация процедур, формирование системы управления знаниями и опытом, наличие должностных лиц и ответственности, доведение до сведений работников политики в области качества и области действия СМК, обучение персонала соответствующим навыкам, обеспечение соответствующей инфраструктуры и другие мероприятия, установленные стандартом.

Немаловажным фактором, определяющим результативность СМК, является заинтересованность руководства в функционировании и поддержании ее процессов, что указывается в требованиях стандарта. Руководитель должен включать аспекты качества в цели компании и поддерживать деятельность СМК финансированием, моральными стимулами, проведением соответствующих своевременных мероприятий по повышению результативности СМК и аудита.

В работе [6] приведена методика разработки процедуры оценки результативности функционирования СМК в организациях горного машиностроения, которую можно использовать для анализа функционирования СМК высшим руководством.

Предлагаемые порядок и особенности проведения организационно-технических мероприятий позволят легче и безболезненнее провести процесс внедрения СМК, отвечающей требованиям стандарта ИСО 9001-2015, который зачастую сопровождается масштабными изменениями в старой устоявшейся системе управления и формировании новых методов управления экономикой и финансами, производством, техническим развитием организации.

Выводы

Грамотно разработанная СМК в организации, безусловно, является эффективным инструментом, обеспечивающим производство горных машин высокого качества. Игнорирование требований стандарта и внедрение СМК на формальном уровне влечет отсутствие ее положительного влияния на качество готовой продукции. При внедрении СМК важно установить среду организации и выработать политику качества, которая должна выполняться и поддерживаться руководством. При выработке политики качества горных машин важно принять за основу модернизацию производственного оборудования и техническое переоснащение с использованием современных ресурсосберегающих технологий, расширение ассортимента продукции, налаживание производства высокоэффективных машин новых поколений. Предлагаемый подход к внедрению СМК позволит максимально полно использовать возможности, которые заложены в требованиях международного стандарта.

Разработка и внедрение СМК для отрасли горного машиностроения характеризуется высокой сложностью процессов и требует материальных, временных и информационных ресурсов методического характера. Поэтому вопрос по-

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

вышения качества продукции путем интеграции СМК в организациях, производящих горные машины, требует более глубоких исследований для определенных категорий продукции и разработки методических указаний по интеграции СМК, основанной на базе стандарта ИСО 9001-2015.

Список литературы

1. Шаронина, Л.В. Состояние и проблемы отрасли по производству машин и оборудования // Вестник Таганрогского института управления и экономики. Экономика и экономические науки. – 2014. – №1(19). – С. 12-15.
2. Witold, B. Application of Quality Management Tools for Evaluating the Failure Frequency of Cutter-Loader and Plough Mining Systems // The Journal of Committee of Mining of Polish Academy of Sciences. – 2017. – Iss.2. – Vol.62. – P. 243-252.
3. Skotnicka-Zasadzien, B. Selected Aspect of Quality Engineering in Managing the Operation of Machinery and Equipment Mining – Case Study // Systems Supporting Production Engineering. – 2016. – No.4. – P. 198-208.
4. Dykan, O.V. Logistic Approach to Quality Management Industrial Enterprises // Менеджмент та маркетинг. Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2014. – №48. – С. 178-184.
5. Припотень, В.Ю. Усовершенствование системы менеджмента качества на промышленных предприятиях / В.Ю. Припотень, Ю.В. Бородач // Экономика строительства и городского хозяйства. – 2017. – №3. – Т.13. – С. 271-277.
6. Мороз, А.Ю. Оценка результативности функционирования системы менеджмента качества организации горного машиностроения // Горный информационный аналитический бюллетень. – 2017. – №3. – С. 394-401.
7. Biały, W. Integrated Management System in Implemented in a Mine / W. Biały, E.W. Maruszewska // 7th Research Expert Conference with International Participations «QUALITY 2011», Katowice, Poland, June 01.04. – Neum: B&H, 2011. – P. 61-66.
8. Гарина, Е.П. Использование современных методов управления качеством для повышения результативности производства сложного продукта / Е. П. Гарина, А.П. Гарин // Вестник НГИЭИ. – 2017. – №11(78). – С. 111-119.
9. Антонова, А.А. Система менеджмента качества как фактор повышения конкурентноспособности предприятия / А.А. Антонова, И.М. Кублин, А.Е. Махметова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – №3(158). – С. 77-83.
10. Юдин, С.В. Некоторые вопросы менеджмента качества на предприятиях машиностроительного профиля // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т.14. – С. 342-350.
11. Мирошников, В.В. Реализация требований ISO 9001-2015 в машиностроении / В.В. Мирошников, О.А. Горленко, Н.М. Борбаць // Сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции, контроль, выполнение, повышение, планирование», г. Курск, 17-18 ноября 2015 г. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – Т.2. – С. 60-64.
12. Корецкий, В.Б. Технологичность горно-транспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – С. 226-231.
13. Мирошников, В.В. Система управления знаниями в области качества / В.В. Мирошников, Д.И. Булатицкий // Информационные технологии. – 2006. – №7. – С. 16-22.
14. Мороз, А.Ю. Проектирование автоматизированной подсистемы управления в системе менеджмента качества организации // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – №2(18). – С. 47-53.

M.P. Kondratenko
Donetsk National Technical University (Donetsk)

PROBLEMS AND DIRECTIONS OF HIGH-QUALITYMINING MACHINES PRODUCTION

Background. *The paper deals with the production of high-quality mining machines by integrating the quality management system (QMS) based on the international standard ISO 9001-2015 in mining engineering organizations. The purpose of the paper is to conduct a comprehensive analysis of the features of construction of QMS in mining engineering, providing sustainable production of high-quality mining machines with the requirements of ISO 9001-2015.*

Materials and/or methods. *The features of the mining engineering industry, including factors that re-*

duce the quality of products under operating conditions presented. The requirements for mining machines and the main quality indicators, which should be taken into account in the first place when developing a quality management system presented. The peculiarities of the implementation of the important principles and requirements of ISO 9001-2015 for the organization of mining engineering given. The order of carrying out organizational and technical actions for the integration of quality management system offered and features of their carrying out considered.

Results. *The proposed approach to the organizational and technical measures, in particular the analysis of the environment of the organization, the development of quality policy and the construction of a quality management system, will make it easier and more painless to carry out the process of implementing a quality management system and make full use of the opportunities inherent in the requirements of the international standard. It is important to take as a basis the innovative development and innovative activity of the organization, modernization of the production equipment and technical re-equipment with use of modern resource-saving technologies, expansion of the product range, adjustment of production of highly effective machines of the new generation.*

Conclusion*. A well-developed quality management system in the organization of mining engineering is an effective tool for managing the production of mining machines****.*** *For the mining engineering industry, the development of such a system is characterized by a high complexity of processes often accompanied by large-scale changes in the old established management system and the formation of new methods of economic and financial management, production, technical development of the organization, which require material, time and information resources of a methodical nature.*

Keywords: *mining machines, production, quality, requirements, quality management system, international standard.*

Сведения об авторе
М.П. Кондратенко
SPIN-код: 4779-4049
Телефон: +380 (62) 301-03-37
Эл. почта: patent@donntu.org

Статья поступила 27.07.2018 г.
© М.П. Кондратенко, 2018
Рецензент д.т.н., проф. О.Е. Шабаев



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

УДК 621.69

А.П. Кононенко /д.т.н./, В.А. Панов
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГАЗОСТРУЙНОГО КОМПРЕССОРА

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию возможности применения общей методики расчета струйных аппаратов к частному случаю – газо(паро)струйным компрессорам как источникам пневмоэнергии для эрлифтов. Представлены блок-схемы разработанных компьютерных программ построения поля характеристик и вычисления абсолютных геометрических размеров, а также достижимого коэффициента инжекции газо(паро)струйного компрессора – основного показателя энергоэффективности такого рода устройств. Результаты экспериментов подтвердили правомерность и адекватность выбранного метода расчета газо(паро)струйных компрессоров.

Ключевые слова: *газо(паро)струйный компрессор, коэффициент инжекции, энергоэффективность.*

Постановка проблемы

Струйные аппараты находят широкое применение в промышленности как для создания избыточного давления на выходе из аппарата (инжекторы и компрессоры), так и для обеспечения требуемого вакуума на входе в приемную камеру эжектора.

Такое разнообразие назначений струйных аппаратов обусловило появление в определенной степени различающихся методик инженерного расчета технологических и конструктивных параметров струйных аппаратов, строгая область применения которых в некоторых случаях не оговаривается.

Наличие различающихся методик расчета струйных аппаратов зачастую ставит конструктора-проектировщика в затруднительное положение при определении их рациональных технологических и геометрических параметров. А учитывая относительно низкую абсолютную энергоэффективность рабочего процесса классических струйных аппаратов, минимизация энергетических потерь при эксплуатации за счет обеспечения их оптимальных конструктивных решений является достаточно актуальной и востребованной на практике научной задачей.

Как известно, единственным критерием адекватности математических моделей рабочих процессов машин и аппаратов является эксперимент. Поэтому экспериментальное обоснование рациональной методики расчета струйного аппарата определенного назначения также является обоснованным решением.

Анализ последних исследований и публикаций

Фундаментальные исследования рабочего процесса эжекторов, выполненные академиком С.А. Христиановичем, дополненные М.Д. Миллионщиковым и Г.М. Рябинковым положениями о критических режимах работы струйных аппаратов и развитые Ю.Н. Васильевым, составили основу инженерной методики расчета газоструйных аппаратов [1].

Исследования В.Л. Чау и А.Л. Эдди, углубившие работы Ю.Н. Васильева, В.Т. Харитонова и Б.А. Урюкова, считаются завершением разработки теории рабочего процесса газового эжектора классической схемы (цилиндрическая камера смешения, наличие диффузора). Эта теория была положена в основу исследований по повышению энергоэффективности работы эжекторов – совершенствование конструктивных схем, пульсирующая подача рабочего потока и др. [1].

Значительные исследовательские работы по паровым эжекторам были выполнены Е.Я. Соколовым и Н.М. Зингером (Всесоюзный теплотехнический институт) [2], М.Е. Дейчем (Московский энергетический институт) [3] и др. [4…9].

Именно Е.Я. Соколовым и Н.М. Зингером была предложена одна из наиболее впоследствии востребованных методик расчета струйных аппаратов, в том числе инжекторов (степень сжатия $\varepsilon<1{,}2$), газо(паро)струйных компрессоров ($1{,}2\leq\varepsilon\leq2{,}5$) и эжекторов ($\varepsilon>2{,}5$) [2].

Широко используемые в промышленности струйные компрессоры нашли, в том числе,

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

применение в качестве источников пневмоэнергии для эрлифтов. Разработаны эрлифтные установки с пароструйными компрессорами для условий гидрозолошлакоудаления тепловых электростанций, работающих на твердом топливе [10], а также эрлифтные установки с воздухоструйными компрессорами для условий водоотливных установок угольных шахт [11].

Такое особое применение струйных аппаратов как источников пневмоэнергии для эрлифтов потребовало с целью повышения эффективности расчетно-конструкторских работ разработки алгоритма и компьютерной программы для расчета газоструйных компрессоров, а также экспериментальной проверки адекватности данной методики.

Цель (задачи) исследования

Цель настоящей работы – разработать алгоритм и компьютерную программу расчета газоструйных компрессоров и выполнить экспериментальное подтверждение адекватности данной методики.

Основной материал исследования

В основу математической модели рабочего процесса газоструйного компрессора положены три закона сохранения – энергии, массы и импульса [2].

Решение математической модели рабочего процесса газоструйного компрессора требует знания численных значений теплофизических параметров (теплоемкость, газовая постоянная и др.) не только рабочего и инжектируемого, но и сжатого потоков. Это не составляет трудности при однородных рабочем и инжектируемом потоках, то есть потоках с одинаковыми физическими свойствами (например, воздух – воздух, водяной пар – водяной пар и др.).

При разнородных рабочем и инжектируемом потоках (например, водяной пар – воздух) вычисление теплофизических параметров сжатого потока требует количественной определенности в соотношении газовых компонентов в этом потоке. Так как это соотношение определяется достижимым коэффициентом инжекции газоструйного компрессора, который при решении прямой задачи является искомой величиной, то вычисления приходится выполнять методом последовательных приближений, задаваясь предварительно ожидаемой начальной величиной коэффициента инжекции и в процессе расчетов доводя погрешность вычислений до приемлемого значения. Выполнять такие расчеты без привлечения электронных вычислительных средств достаточно трудоемкий и затратный по времени процесс.

На основании этого разработаны алгоритмы и компьютерные программы решения трех задач по расчетам газоструйных компрессоров:

– определение достижимого коэффициента инжекции u и относительных геометрических параметров основных сечений компрессора f_{p1}/f_{p*}, f_2/f_{p*}, f_3/f_{p*} (f_{p*}, f_{p1} – площади соответственно критического и выходного сечений рабочего сопла Лаваля, f_2, f_3 – равные площади соответственно входного и выходного сечений цилиндрической камеры смешения; площадь f_2 вычисляется отдельно при конической камере смешения);

– построения поля характеристик газоструйного компрессора $p_c=f(u, p_p, p_н)$ (p_p, $p_н$, p_c – давления соответственно рабочего, инжектируемого и сжатого потоков);

– вычисления абсолютных радиальных и осевых размеров газоструйного компрессора исходя из требуемой его производительности.

Для решения каждой из трех приведенных задач разработаны алгоритмы (рис. 1, 2, 3) и соответствующие компьютерные программы.

Обозначения переменных, приведенных на блок-схемах алгоритмов расчетов (рис. 1, 2, 3), соответствуют принятым в [2].

Для подтверждения адекватности разработанных на основе [2] методик расчета проведены экспериментальные исследования работы пароструйного компрессора, входящего в состав эрлифтной установки системы гидрозолошлакоудаления энергоблока № 8 Экибастузской ГРЭС-1.

Для условий энергоснабжения эрлифтов Экибастузской ГРЭС-1 вышеизложенным методом был рассчитан пароструйный компрессор с цилиндрической камерой смешения. В качестве рабочего потока принят водяной пар с параметрами 2,45 МПа (25 кгс/см^2) и 500 ºС, в качестве инжектируемой среды – атмосферный воздух. Требуемое абсолютное давление сжатия 0,245 МПа (2,5 кгс/см^2). Результаты расчета:

$$u=0{,}80,\ \frac{f_{p1}}{f_{p*}}=3{,}72,\ \frac{f_3}{f_{p*}}=15{,}22.$$

Изготовленный на Донецком машиностроительном заводе им. ЛКУ пароструйный компрессор (рис. 4) был смонтирован в составе эрлифтной установки гидрозолошлакоудаления энергоблока № 8 Экибастузской ГРЭС-1, что позволило провести экспериментальные исследования рабочего процесса пароструйного компрессора с целью подтверждения соответствия его расчетных характеристик действительным.

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

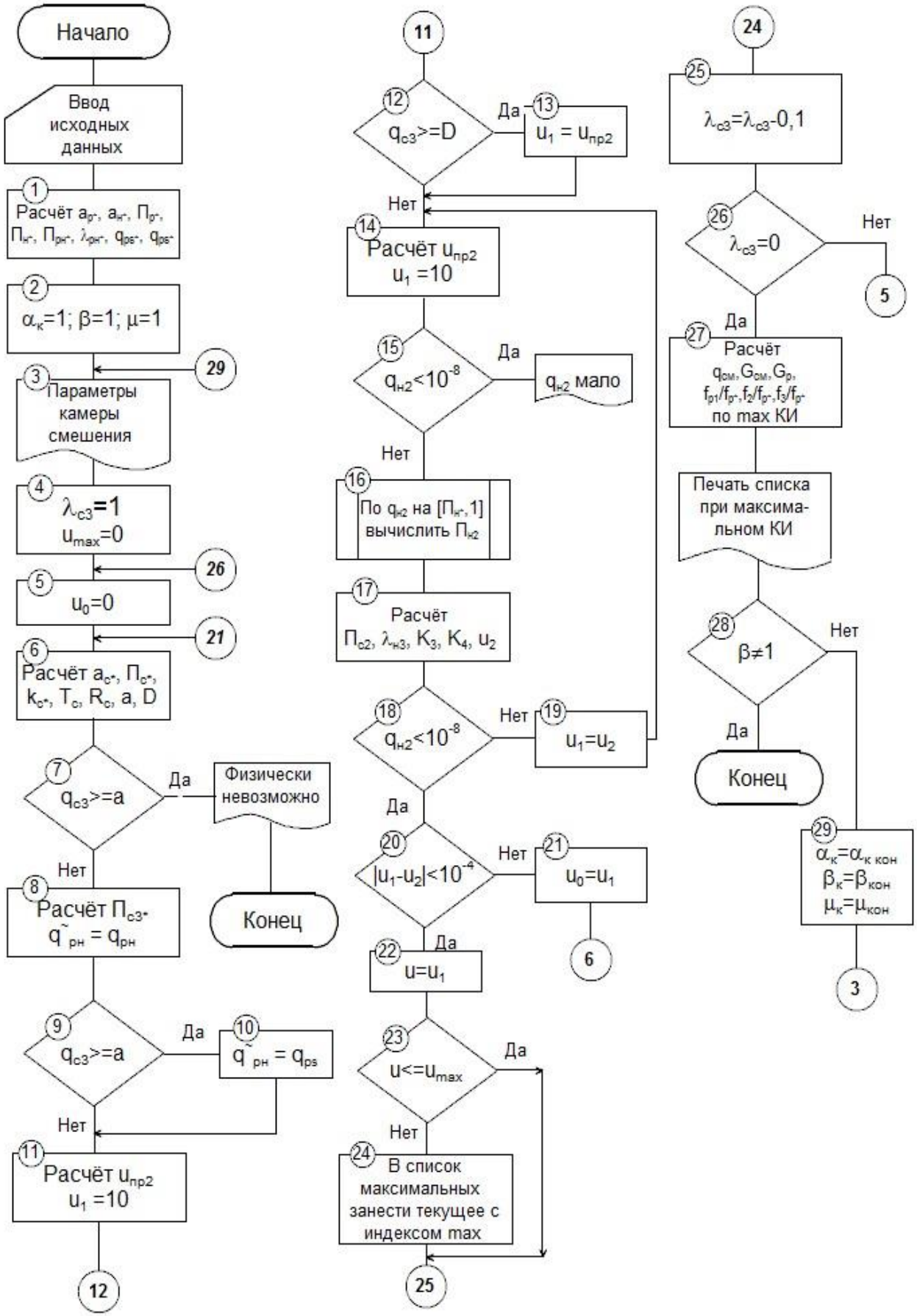


Рис. 1. Алгоритм вычисления достижимого коэффициента инжекции *u* и относительных геометрических параметров f_{p1}/f_{p^*}, f_2/f_{p^*}, f_3/f_{p^*} основных сечений струйного компрессора

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

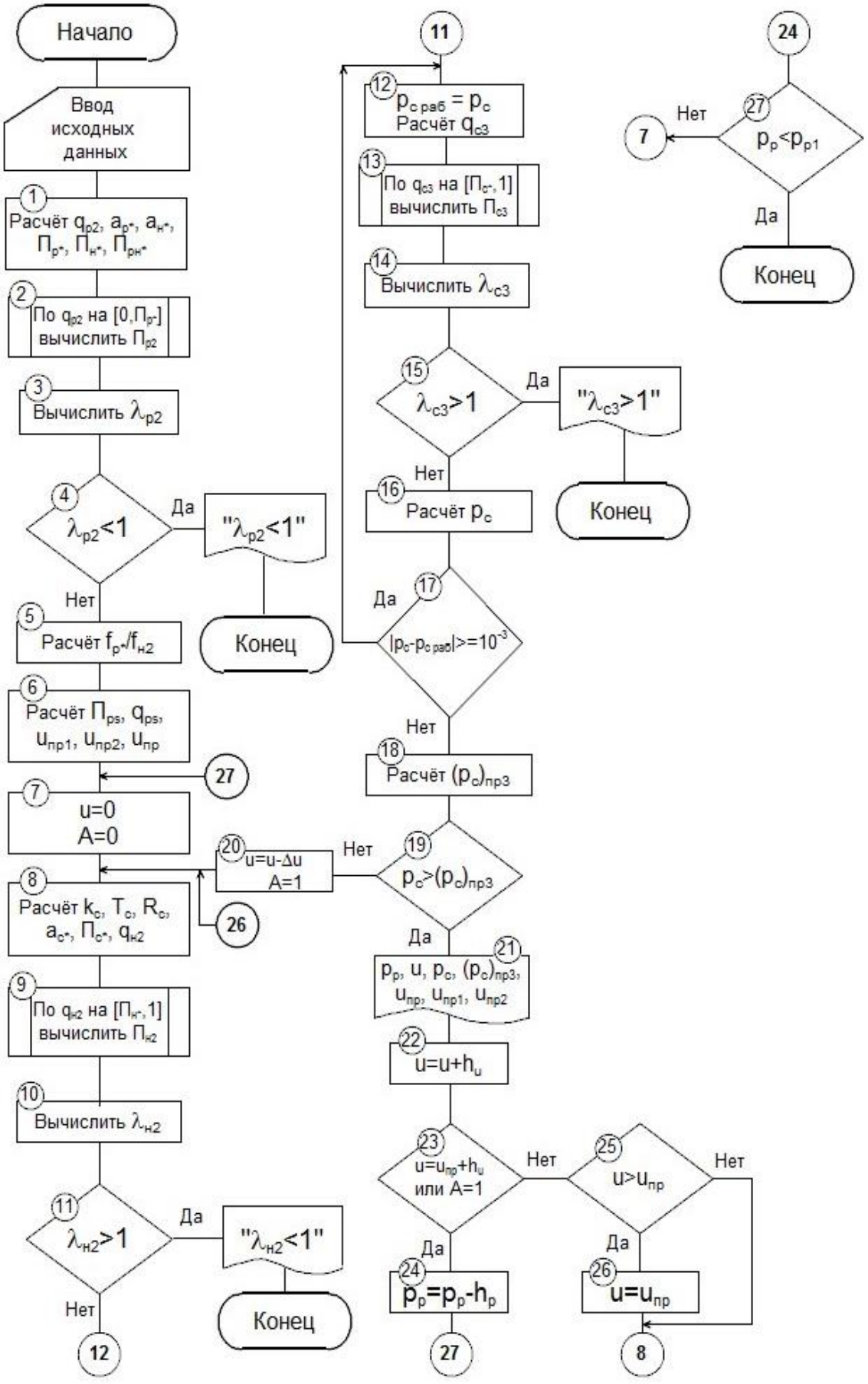


Рис. 2. Алгоритм расчета характеристик газоструйного компрессора $p_c=f(u, p_p, p_н)$

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

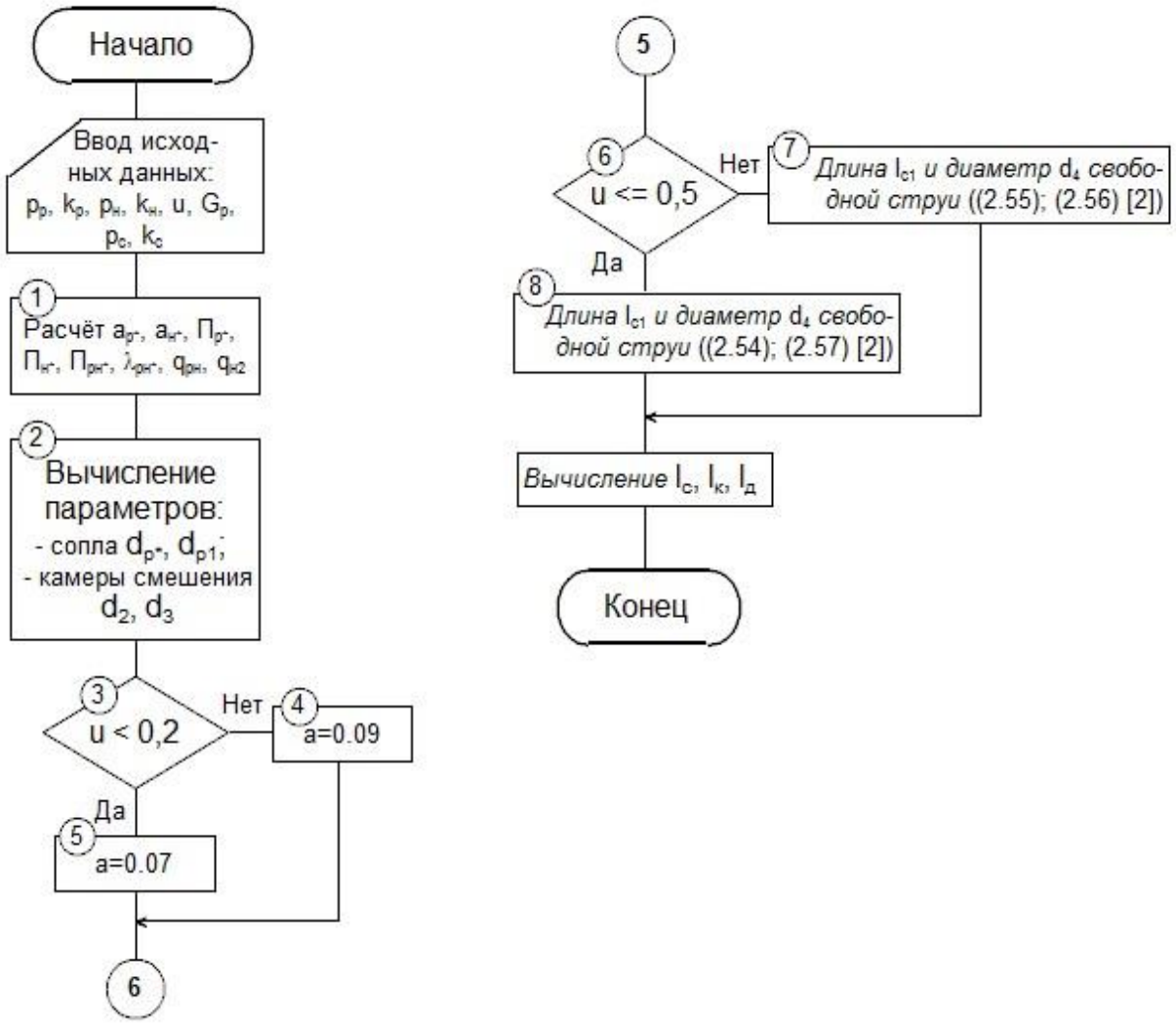


Рис. 3. Алгоритм вычисления абсолютных радиальных и осевых размеров газоструйного компрессора

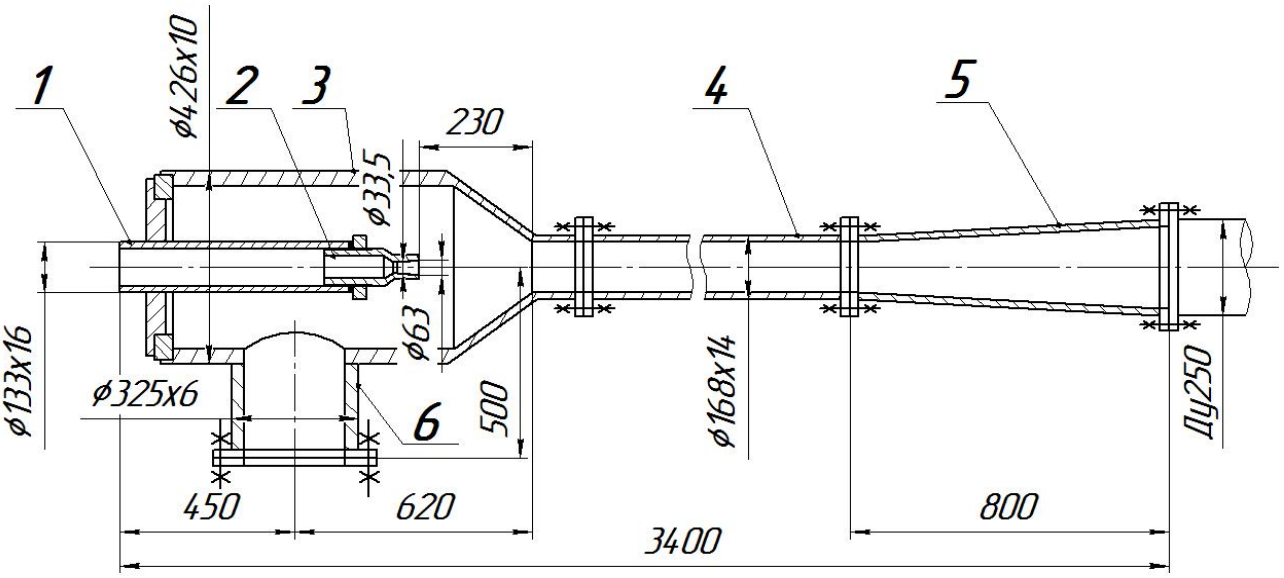


Рис. 4. Схема пароструйного компрессора:
1 – трубопровод рабочего водяного пара; *2* – сопло Лаваля; *3* – приемная камера; *4* – камера смешения; *5* – диффузор; *6* – входной патрубок

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

В соответствии с технологической схемой опытно-промышленной установки (рис. 5) водяной пар от коллектора «горячего» промперегрева (4 МПа, 540 °С) котельного агрегата по трубопроводу ∅108×4,5 мм подавался в рабочее сопло пароструйного компрессора. Инжектируемый атмосферный воздух поступал в приемную камеру компрессора по трубопроводу ∅326×8 мм, на входе в который смонтирован измерительный коллектор, помещенный в специальном коробе.

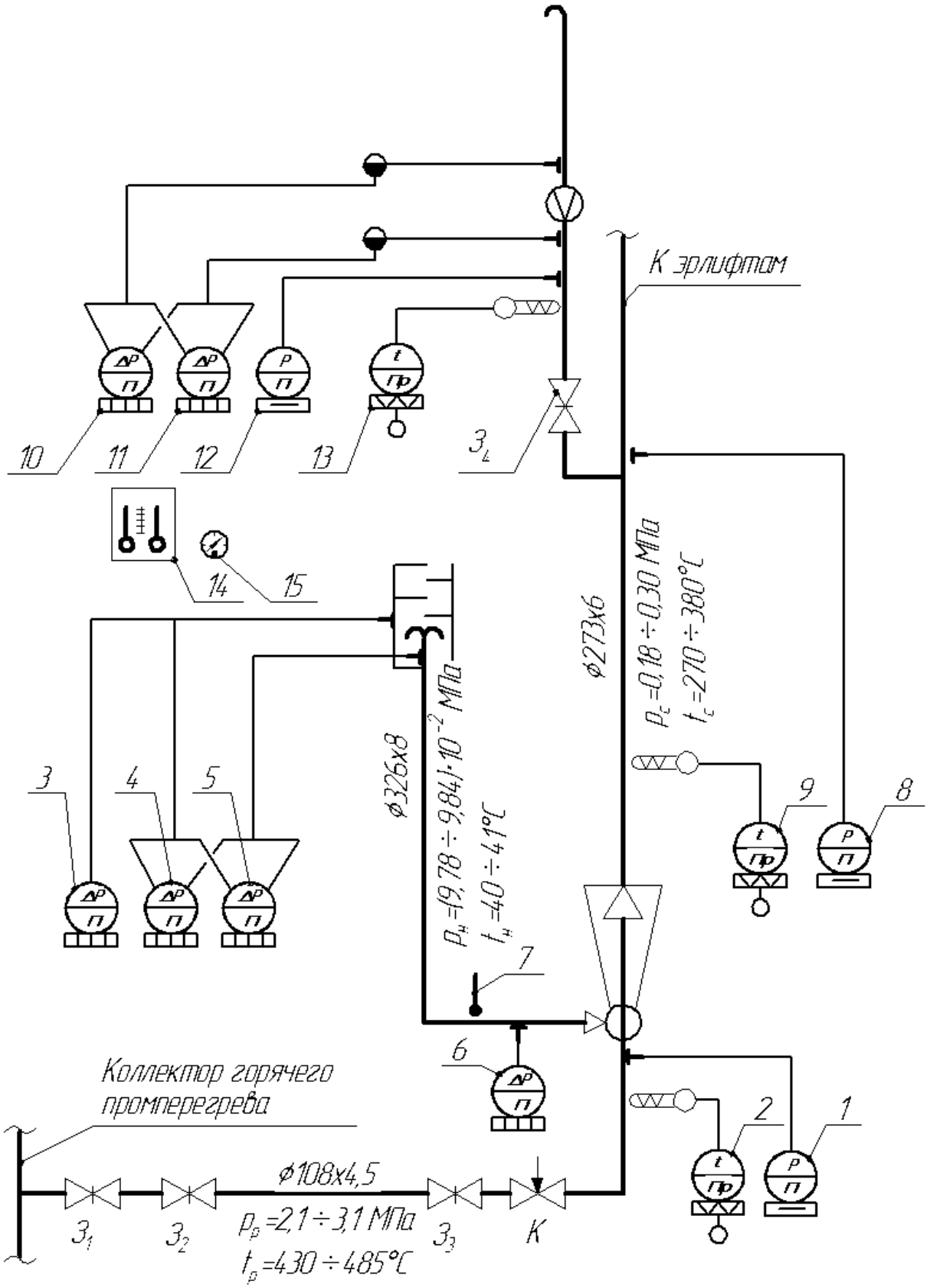


Рис. 5. Технологическая схема опытно-промышленной установки

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

Короб служил для предотвращения прямого попадания золовой пыли во всасывающий тракт компрессора и для целей гашения шума, возможность возникновения которого ожидалась. Сжатая паровоздушная смесь по трубопроводу ∅273×6 мм сбрасывалась в атмосферу.

Задвижки $З_1$, $З_2$, $З_3$ служили для отключения компрессора от источника водяного пара, регулирующий клапан К – для регулирования давления рабочего потока перед компрессором, а задвижка $З_4$ – для регулирования давления сжатого потока после компрессора. Трубопровод подачи паровоздушной смеси к эрлифтам был отглушен.

Расход водяного пара пароструйным компрессором определялся как расход сжимаемой среды при сверхкритическом ее истечении из расширяющегося сопла Лаваля [2] по показаниям сменных манометров 1 ($p_{1макс}$=60 кгс/см^2, $p_{2макс}$=25 кгс/см^2) и хромель-алюмелевой термопары 2. Расход инжектируемого атмосферного воздуха измерялся при помощи измерительного коллектора, разработанного согласно рекомендациям [12]. Перед испытанием пароструйного компрессора была произведена проверка показаний измерительного коллектора при помощи напорной дифференциальной трубки Пито. Разрежение в коробе коллектора измерялось водяным U-образным дифманометром 3 ($\Delta p_{макс}$=700 мм рт. ст.), перепад давлений в коллекторе – параллельно подключенными водяным U-образным дифманометром 4 ($\Delta p_{макс}$=700 мм рт. ст.) и многопредельным микроманометром ММН-240 5 ($\Delta p_{макс}$=240 мм рт. ст.). Давление и температура инжектируемого воздуха перед приемной камерой пароструйного компрессора определялись водяным U-образным дифманометром 6 ($\Delta p_{макс}$=700 мм рт. ст.) и ртутным термометром 7 ($t_{макс}$=50 ºС) соответственно. Давление сжатия, развиваемое пароструйным компрессором, измерялось манометром 8 ($p_{макс}$=2,5 кгс/см^2), температура паровоздушной смеси после компрессора – хромель-алюмелевой термопарой 9. Температура и влажность атмосферного воздуха определялись психрометром 14, барометрическое давление – барометром 15.

На трубопроводе ∅273×6 мм сброса паровоздушной смеси в атмосферу была смонтирована измерительная диафрагма с уравнительными конденсационными сосудами. Расход паровоздушной смеси, измеренный при помощи диафрагмы, сравнивался с суммой расходов рабочего пара и инжектируемого воздуха, что максимально возможно исключало грубые и систематические ошибки измерений.

Перепад давлений на диафрагме определялся параллельно подключенными дифманометрами ДТ-50 10 и 11 ($\Delta p_{макс}$=700 мм ст. жидкости), в первом из которых в качестве уравновешивающей жидкости использовалась ртуть, а во втором – четыреххлористый углерод плотностью ρ=1630 кг/м^3. Давление перед диафрагмой измерялось манометром 12 ($p_{макс}$=1,0 кгс/см^2), температура паровоздушной смеси – хромель-алюмелевой термопарой 13.

Последовательность проведения экспериментальных исследований рабочего процесса пароструйного компрессора следующая.

Регулирующим клапаном К задавалось требуемое давление рабочего пара. Задвижкой $З_4$ изменялось давление сжатия пароструйного компрессора от минимально возможного (при полностью открытой задвижке $З_4$) до максимально развиваемого компрессором (при котором коэффициент инжекции близок к нулю). Характеристики снимались в диапазоне изменения давления (абсолютного) рабочего пара p_p=2,06…3,04 МПа (21,0…31,0 кгс/см^2) с шагом Δp_p=0,196 МПа (2,0 кгс/см^2).

Как показали результаты замеров, погрешность измерения расхода паровоздушной смеси измерительной диафрагмой не превышает 5 % при условии, что в качестве истинной величины расхода принималась сумма расходов рабочего пара и инжектируемого воздуха.

На рис. 6 приведено сопоставление характеристик изготовленного пароструйного компрессора, рассчитанных по разработанному алгоритму и компьютерной программе, с экспериментальными данными. Сплошными линиями показаны расчетные характеристики компрессора, на которые нанесены опытные точки. Как видно из приведенных данных: экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на расчетные характеристики, несоответствие не превышает 5 %.

В целом результаты испытаний подтверждают правильность выбранного метода расчета пароструйных компрессоров и возможность применения при создании данных типов струйных аппаратов разработанных компьютерных программ для расчета достижимого коэффициента инжекции и построения поля характеристик пароструйных компрессоров.

Возникновение предельных режимов в пароструйном компрессоре описывается эмпирическим уравнением ($u_{пр}$ – коэффициент инжекции при максимально возможном давлении сжатия p_c в предельном режиме работы):

$$u_{пр} = 24{,}25 \cdot p_c^2 - 16{,}85 \cdot p_c + 3{,}494,$$

правомерным в диапазоне давлений смешанного потока p_c=0,200…0,274 МПа при давлениях рабочего водяного пара p_p=2,06…3,04 МПа.

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

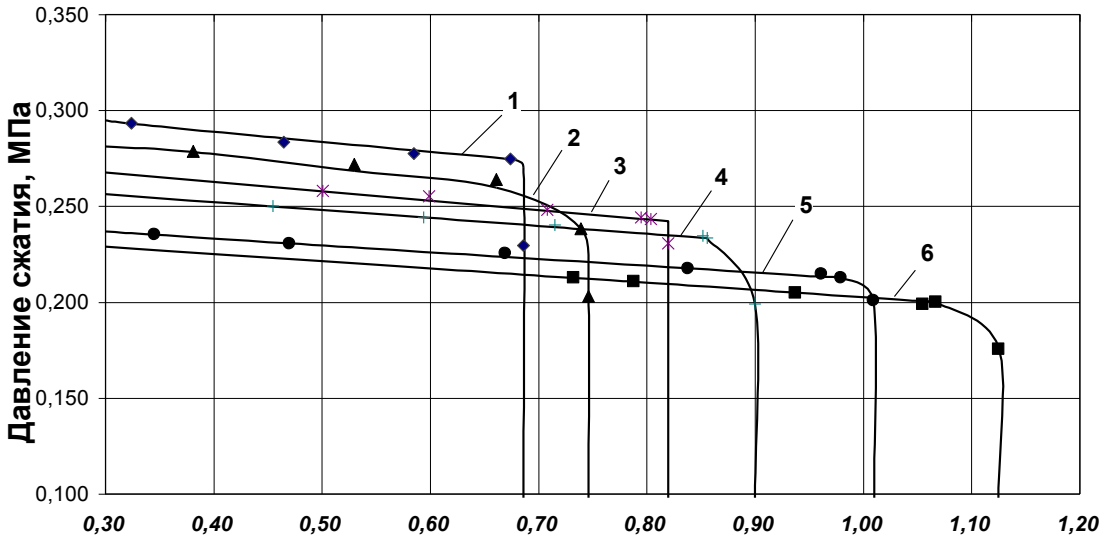


Рис. 6. Поле характеристик пароструйного компрессора:
1 – p_p=3,04 МПа (31 кгс/см^2); *2* – p_p=2,84 МПа (29 кгс/см^2); *3* – p_p=2,65 МПа (27 кгс/см^2);
4 – p_p=2,45 МПа (25 кгс/см^2); *5* – p_p=2,25 МПа (23 кгс/см^2); *6* – p_p=2,06 МПа (21 кгс/см^2)

Адекватность приведенного эмпирического уравнения массиву экспериментальных данных подтверждена статистическим анализом с использованием критерия Фишера.

Выводы

Результатами экспериментальных исследований рабочего процесса пароструйного компрессора в условиях Экибастузской ГРЭС-1 подтверждена адекватность разработанных алгоритмов и компьютерных программ вычисления коэффициента инжекции и относительных геометрических параметров основных сечений струйного аппарата, расчета его характеристик, а также абсолютных радиальных и осевых размеров компрессора. Разработанные методики правомерно использовать в качестве базовых при исследованиях работы газоструйных компрессоров с пульсирующей подачей рабочего потока.

Список литературы

1. Аркадов, Ю.К. Новые газовые эжекторы и эжекционные процессы. – Москва: Физматлит, 2001. – 336 с.
2. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд. – Москва: Энергия, 1989. – 352 с.
3. Дейч, М.Е. Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.
4. Александров, В.Ю. Оптимальные эжекторы (теория и расчёт) / В.Ю. Александров, К.К. Климовский – М.: Машиностроение, 2012. – 136 с.
5. Цегельский, В.Г. Струйные аппараты. – 2017. – 576 с.
6. Битюцких, С.Ю. Исследование и расчёт гидродинамики в струйном насосе / С.Ю. Битюцких, Е.К. Спиридонов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение», ЮУрГУ. – 2016. – №1. – Т.16. – С. 5-15.
7. An, Z. Research on Status and Development of Jet // Pump International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering: MEIC-2015. April 1-3, 2015 in Shenyang, China. – Atlantis Press. – P. 1519-1522.
8. Cai, L. A Numerical Study on the Supersonic Steam Ejector Use in Steam Turbine System / L. Cai, M. He // Mathematical Problems in Engineering. – Vol.2013. – Article ID 651483. – Cairo: Hindawi Publishing Corporation. – 9 p.
9. Gugulothu, S.K. Experimental study of the effect of mixing chamber length and diffuser angle on the performance of dredging jet pump / S.K. Gugulothu, S. Manchikatla // International Journal of Recent Advances in Mechanical Engineering (IJMECH). – No.4. – Vol.3. – 2014. – P. 119-133.
10. Кононенко, А.П. Эрлифтные установки с пароструйными компрессорами: дис. … канд. техн. наук: 05.05.06; 05.14.09 / Кононенко Анатолий Петрович. – Донецк: ДПИ, 1988. – 381 с.
11. Малеев, В.Б. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных ёмкостей: учебн. пособие / В.Б. Малеев, Е.И. Данилов, В.М. Яковлев. – Донецк: ДПИ, 1986. – 36 с.
12. Ханжонков, В.И. Аэродинамические характеристики коллекторов // Промышленная аэродинамика. Выпуск 4. – М.: БНИ ЦАГИ, 1953. – С. 45-62.

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

A.P. Kononenko /Dr. Sci. (Eng.)/, V.A. Panov
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF RATIONAL CALCULATION METHODS FOR GAS-JET COMPRESSORS

Background. *The variety of jet apparatus applications led to the appearance of different methods for calculating the design characteristics of jet devices, the precise application of which in some cases is not specified. This fact often puts the designer in a difficult position when determining the parameters of jet devices.*
Materials and/or methods. *E. Ya. Sokolov and N. M. Singer (Heat Engineering Institute, Moscow) proposed one of the most popular methods for calculation of jet devices, including injectors (compression ratio $\varepsilon<1.2$), gas (steam) jet compressors ($1.2\leq\varepsilon\leq2.5$) and ejectors ($\varepsilon>2.5$).*
Results. *The results of the experiments confirm the validity of the chosen calculation method for steam-jet compressors as the air power source for airlifts and the possibility of using the developed computer programs to calculate the achievable coefficient of injection and absolute geometric parameters when creating these types of jet devices, as well as building the field of characteristics of gas (steam) jet compressors.*
Conclusion. *The results of experimental studies of the steam-jet compressor working process under the conditions of Ekibastuz GRES-1 confirmed the adequacy of the developed algorithms and computer programs for calculating the injection coefficient and relative geometric parameters of the main sections of the jet apparatus, calculating its characteristics, as well as the absolute radial and axial dimensions of the compressor. The developed methods can be used as the basic methods for studying the operation of gas-jet compressors with the pulsating supply of workflow.*

Keywords: *gas (steam) jet compressor, injection coefficient, energy efficiency.*

Сведения об авторах

А.П. Кононенко
SPIN-код: 3828-6755
Телефон: +380 (62) 301-07-24
Эл. почта: ap.kononenko@mail.ru

В.А. Панов
SPIN-код: 3707-0018
Телефон: +380 (62) 301-07-24
Эл. почта: work_pva@mail.ru

Статья поступила 29.03.2018 г.
© А.П. Кононенко, В.А. Панов, 2018
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин



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

УДК 621.867

Н.А. Скляров /к.т.н./, В.Ф. Шавлак /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ТЯГОВОМ ОРГАНЕ КРУТОНАКЛОННОГО ЛЕНТОЧНО-ЦЕПНОГО КОНВЕЙЕРА

В статье представлены результаты аналитических исследований динамических нагрузок цепных тяговых органов крутонаклонных ленточно-цепных конвейеров, приведены рекомендации по расчету динамических нагрузок. Проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: *крутонаклонный ленточно-цепной конвейер, тяговый орган, динамические усилия, ускорение, период зацепления.*

Постановка проблемы

За последние годы развитие конвейеростроения характеризуется внедрением крутонаклонных конвейеров во многих отраслях промышленности. Это можно объяснить тем, что использование крутонаклонных конвейеров дает значительную экономию средств за счет уменьшения длины конвейера, снижения объема подготовительных и капитальных затрат, а также уменьшения эксплуатационных расходов по сравнению с транспортированием груза на ту же высоту при помощи конвейеров обычной конструкции. В настоящее время научно-исследовательскими и проектными институтами разработаны методики расчетов крутонаклонных конвейеров. Однако вопросы установления динамических нагрузок, воздействующих на цепной тяговый орган специальных крутонаклонных ленточно-цепных конвейеров, до настоящего времени не рассматривались.

Анализ последних исследований и публикаций

Для специальных комбинированных крутонаклонных конвейеров, например, с тяговыми цепными органами и грузонесущей лентой весьма важным является обеспечение синхронности движения обоих рабочих (тягового и грузонесущего) органов во избежание преждевременного износа ленты, обрыва цепей и возможного измельчения транспортируемого груза [1]. Успешному решению отдельных задач для указанных типов конвейеров способствуют труды научно-исследовательских, проектно-конструкторских и учебных институтов (УкрНИИпроект, ИГДМЧМ СССР, ИГД им. А.А. Скочинского, ДонНТУ, МГГУ и многих других) [1…7].

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является установление динамических нагрузок, воздействующих на цепной тяговый орган конвейера.

В работе решаются следующие взаимосвязанные задачи:

– разработать расчетную схему рабочей ветви крутонаклонного ленточно-цепного конвейера с указанием действующих сил;

– рассчитать общую массу движущихся цепей и груза;

– определить ускорения в начале и конце зацепления звена цепи со звездочкой;

– определить общую массу движущихся цепей и груза с учетом проскальзывания груза относительно ленты;

– определить динамические усилия в тяговом органе крутонаклонного ленточно-цепного конвейера.

Основной материал исследования

На цепной тяговый орган движущая сила от ведущей звездочки передается методом зацепления. Между цепью и звездочкой существует жесткая связь. На ведущих блоках цепи образуют многогранники. При вращении блока радиус навивки цепи изменяется. Появляется неравномерное движение цепи, вследствие чего возникают динамические нагрузки. При рассмотрении этого вопроса приняты следующие допущения:

– движение тягового органа считаем поступательным;

– цепной тяговый орган считаем абсолютным твердым телом.

При входе в зацепление зуба звездочки со звеном цепи ее линейная скорость V, м/с, при t=0 равна:

$$V = \omega R \cos\omega\tau_0,$$

а ускорение a, м/с^2:

$$a_{\max} = \omega^2 R \sin\omega\tau_0,$$

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

где ω – постоянная угловая скорость вращения приводной звездочки, рад./с; R – радиус начальной окружности звездочек, м; τ_0 – полупериод зацепления, с.

При $t=\tau_0$, с:

$$V = \omega R = V_{\max},$$

а ускорение $a=0$ м/с^2.

В конце периода зацепление зуба звездочки со звеном цепи ее скорость V, м/с, при $t=2\tau_0$, с, равна:

$$V = \omega R \cos\omega\tau_0,$$

а ускорение a, м/с^2, достигает минимума:

$$a_{\min} = -\omega^2 R \sin\alpha_0 = -a_{\max}.$$

При дальнейшем увеличении t в зацепление входит другой зуб.

В промежутке от $t=0$ до $t=\tau_0$ цепь движется ускоренно. При $t=\tau_0$ $a=0$. Дальше, до момента $t=2\tau_0$, цепь движется замедленно.

В момент $t=2\tau_0$ происходит мгновенное возрастание ускорения от $-a_{\max}$ до $a_{\max}$, что представляет собой динамический удар.

Динамические усилия в цепном тяговом органе в общем случае определяются по формуле:

$$P_{\partial} = ma,$$

где m – масса перемещаемого груза и цепей.

Профессором И.Г. Штокманом [3,4] достаточно подробно разработана методика расчета динамических усилий, возникающих в цепных тяговых органах обычных конвейеров, имеющих горизонтальную или слабонаклонную трассу. Вместе с тем до сих пор практически остается нерассмотренным вопрос определения динамических усилий в цепных тяговых органах крутонаклонных конвейеров. Конструктивные особенности специальных крутонаклонных ленточно-цепных конвейеров обуславливают специфику расчета динамических усилий в грузонесущем и тяговом органах.

Принцип действия крутонаклонного ленточно-цепного конвейера (рис. 1) заключается в следующем. Лента 1 и лежащие на ее рабочей поверхности цепи 3 с перегородками 2 движутся одновременно. Перегородки, закрепленные на цепях с определенным шагом при помощи соединительных звеньев, опираются на ленту и служат для удержания груза на ленте. Приводные барабан 4 и звездочки 5 имеют равные диаметры и вращаются с одной и той же частотой, однако, как показали исследования, при работе такого конвейера лента и цепи движутся с неодинаковыми скоростями [1].

Неравенство скоростей цепей и ленты объясняется неравномерным (ускоренно-замедленным) характером движения цепи, о котором сказано выше.

В период, когда цепи и лента движутся с разными скоростями, происходит перемещение груза по ленте под воздействием цепи с перегородками. В то время, когда цепи с перегородками движутся ускоренно, на них, кроме продольной составляющей веса груза $qg\sin\beta$, воздействует еще и сила трения груза о ленту F, Н, которая определяется из выражения:

$$F = f_1 qg\cos\beta,$$

где f_1 – коэффициент трения груза о ленту в движении; q – погонная масса груза, кг/м.

Учитывая, что в перемещении груза по ленте под воздействием цепей с перегородками участвует не весь груз, а лишь некоторая его часть, связанная с цепями и перегородками, масса перемещаемого груза составит:

$$m_{гр} = L(Kg\sin\beta + F),$$

где L – длина конвейера, м; K – экспериментальный коэффициент, определяющий ту часть груза, которая участвует в перемещении по ленте вместе с цепями и перегородками; F – сила трения груза о ленту, Н; g – ускорение силы тяжести, м/с^2.

Масса движущихся цепей с перегородками определится из выражения:

$$m_{ц.пр} = 2Lq_0\sin\beta,$$

где q_0 – погонная масса цепей с перегородками, кг/м; $2L$ – длина цепного контура конвейера, м.

Общая масса движущихся цепей и груза составляет:

$$m_{общ} = m_{гр} + m_{ц.пр.} = L(Kg\sin\beta + F + 2q_0\sin\beta).$$

При определении расчетной динамической нагрузки необходимо принять во внимание мгновенное изменение ускорения, а значит, и мгновенное приложение нагрузки, что требует удвоения величины динамической нагрузки в цепном тяговом органе – S_{∂}. Кроме того, в этот момент амплитуда изменения ускорения $a_{\max}$ равна $2a_{\max}$, в связи с этим расчетную величину

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

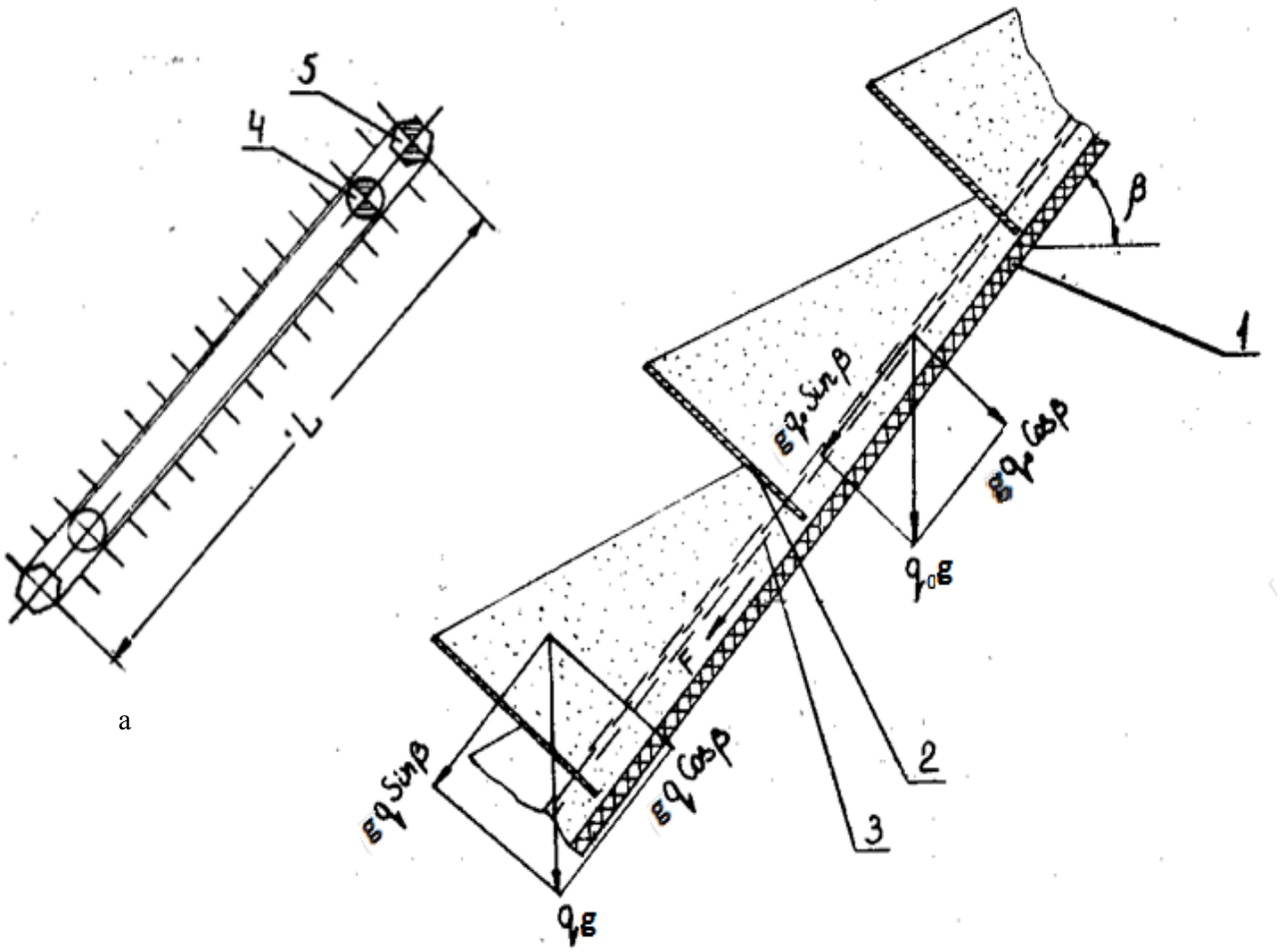


Рис. 1. Схема конвейера:
а – кинематическая схема; *б* – расчетная схема действующих сил

нагрузки необходимо удвоить еще раз. Эффект действия расчетной нагрузки уменьшается благодаря тому, что в момент, предшествующий зацеплению зуба звездочки со следующим звеном цепи ($t=2\tau_0$), величина $S_д$ отрицательна.

Поэтому расчетная динамическая нагрузка:

$$S_{\text{дас}} 2 \cdot 2S_{д} - S_{д} = 3S_{д},$$

$$S_{\text{дас}} = 3L(Kg\sin\beta + F + 2q_0\sin\beta)\omega^2 R\sin\omega\tau_0 .$$

В случае применения конвейеров большой длины (более 60 м) необходимо учитывать упругие свойства цепного тягового органа.

Выводы

Установлено, что в момент неравномерного движения цепей с перегородками происходит волочение части груза по ленте, что обуславливает возникновение в цепях дополнительной нагрузки, равной силе трения груза о ленту.

С использованием результатов выполненного анализа возникновения динамических усилий в тяговом органе крутонаклонного ленточно-цепного конвейера были установлены аналитические зависимости для определения следующих параметров:

– массы движущегося груза с учетом его проскальзывания относительно ленты;

– массы движущихся цепей с перегородками;

– общей массы движущихся цепей и груза;

– расчетной величины динамической нагрузки.

Предварительный анализ величины динамических усилий в цепных тяговых органах показывает, что обычный привод, без синхронизации движения цепей с перегородками и ленты, пригоден только для коротких конвейеров. При увеличении длины крутонаклонных конвейеров более 60 м неравномерность движения ленты и цепей с перегородками приводит к значительному увеличению мощности привода и ускорению износа ленты. В этом случае для надежной работы конвейера необходимо применять уравнительные или специальные приводы, позволяющие получить равные линейные скорости ленты и цепей.

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

Список литературы

1. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия: Учеб. пособие для вузов. Изд-е 2-е, перераб. и доп. Под ред. проф. В.П. Кондрахина / В.А. Будишевкий, В.О. Гутаревич, В.Н.Скляров, А.А. Сулима. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 689 с.
2. Конвейеры: Справочник / Р.А. Волков, А.Н. Гнутов, В.К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, 1984. – 367 с.
3. Поляков, Н.С. Основы теории и расчета рудничных транспортных установок / Н.С. Поляков, И.Г. Штокман. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 491 с.
4. Штокман, И.Г. Частота упругих колебаний тяговых органов рудничных: в сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». – Вып.2. – Киев: Техніка, 1971. – С. 33-38.
5. Dolipski, M. Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats by means of a mathematical model of the longwall conveyor / M. Dolipski, E. Remiorz, P. Sobota //Arch. Min. Sci. – 2012. – No.4. – Vol.57. – P. 1101-1119.
6. Dolipski, M. Dynamics of non-uniformity loads of AFC drives / M. Dolipski, E. Remiorz, P. Sobota //Arch. Min. Sci. – 2014. – No.1. – Vol.59. – P. 155-168.
7. Shi, G. Research on Dynamic Tension Control Theory for Heavy Scraper Conveyor / G. Shi, J. Mao, X. H. Wei // Applied Mechanics and Materials. – 2010. – Vol.34-35. – P. 1956-1960.

N.A. Sklyarov /Cand. Sci. (Eng.)/, V.F. Shavlak /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

DETERMINING THE DYNAMIC FORCES IN THE TRACTION BODY OF A HIGH-ANGLE BELT CHAIN CONVEYOR

Background. *High-angle belt chain conveyors used for transportation of bulk material in the coal and mining industry, in construction and refractory industry, in grain warehouses and in the food industry. When creating and modernizing them, it is necessary to solve many local problems, including the determination of the calculated dynamic loads on the chain traction body, taking into account the possible slippage of the load on the belt due to the difference in the speed of the belt and chain.*
Materials and/or methods. *The difference in the speed of the traction chains and the belt explained by the uneven movement nature of the chain. Theoretical studies carried out to determine the analytical dependencies for determining the kinematic parameters and dynamic loads in the chain traction body.*
Results. *In the paper, the following tasks solved: determined the total mass of the moving chains and the load; defined the acceleration at the beginning and end of the chain link gearing with a chainwheel*; *determined the force of friction of the load on the belt*; *determined the dynamic forces in the traction body of the high-angle belt chain conveyor*. *Established that at the time of uneven movement of the chains with partitions, a part of the load dragged along the belt, which causes the additional load in the chains equal to the friction force of the load on the belt.*
Conclusion. *The value analysis of the dynamic forces in the chain traction bodies shows that a conventional drive, without movement synchronization of the chains with the partitions and the belt, is suitable only for short conveyors. With the length of conveyors more than 60 m, the uneven movement of the belt and the chains leads to a significant increase in drive power and faster wear of the belt.*

Keywords**:** *high-angle belt chain conveyor, traction body, dynamic forces, acceleration, gearing.*

Сведения об авторах

Н.А. Скляров
SPIN-код: 8015-9609
Author ID: 850367
ORCID iD: 0000-0002-2961-3164
Телефон: +380 (62) 301-07-78
Эл. почта: nikolay.sklyarov@mail.ru

В.Ф. Шавлак
SPIN-код: 4837-7126
Author ID: 852557
Телефон: +380 (71) 323-19-17
Эл. почта: shavlak1@yandex.ua

Статья поступила 11.04.2018 г.
© Н.А. Скляров, В.Ф. Шавлак, 2018
Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко

УДК 629.3.02-83-843

В.И. Калашников /к.т.н./, А.О. Хмара
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Развитие теории и практики применения электромобилей поставило на повестку дня их серийное производство. Для использования электромобилей важным требованием является доступность их зарядки как в домашних условиях, так и в населенных пунктах. Поэтому в данной работе описан анализ тенденций развития зарядных устройств электромобилей.

Ключевые слова: *зарядка, зарядное устройство, тип разъема, стандарт разъема.*

Постановка проблемы

Заправка электромобиля отличается от заправки обычного авто. Главным преимуществом электромобилей является возможность заряжать их в любом месте, где есть обычная электросеть. Важно понимать, что тяговая батарея в электромобиле использует постоянный ток (DC), а в электрической сети используется переменный ток (AC). Таким образом, в случае использования зарядной станции переменного тока применяется бортовое зарядное устройство электромобиля, которое преобразует переменный ток зарядной станции в постоянный, которым и заряжается тяговая батарея. Сегодня уже большинство электромобилей приспособлены для зарядки как переменным, так и постоянным током [1].

Существуют стандартные электронные устройства для заряда электромобилей, регулируемые МЭК (Международная электротехническая комиссия). На сегодняшний день IEC 62196 выступает одним из основных международных стандартов. Он определяет главные характеристики, включая виды соединителей (штепсельные вилки, сетевые розетки, входы питания электромобиля), режимы подзарядки током, настройки подключения и требования соблюдения норм и правил безопасности [2].

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время электромобили уступают привычным для нас авто своим небольшим ассортиментом, а также временем, необходимым для их зарядки. В последнее время появилась информация о разработках быстро заряжающихся батарей. Израильский стартап StoreDot, известный разработкой быстро заряжающихся батарей, объявил о создании новой модели для электромобилей в 2015 году. В компании утверждают, что разработанная ими батарея для электромобилей способна полностью зарядиться всего за 5 минут и обеспечит машине запас хода приблизительно в 480 километров. В разработанной компанией StoreDot технологии FlashBattery используются слои наноматериалов и запатентованные органические компоненты. Также в компании утверждают, что FlashBattery безопаснее, чем литий-ионные аккумуляторы, так как устройство невоспламеняющееся и обладает повышенной температурой горения. Ожидается, что первый электромобиль с батареей от StoreDot появится в ближайшее время. Сейчас на зарядку батарей электромобиля уходит не так много времени, например, станции Tesla Supercharger способны полностью зарядить батарею машины примерно за 2 часа [3]. Исходя из этого, анализ зарядных устройств различных фирм-производителей является весьма актуальным.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является классификация зарядных устройств по уровню мощности; классификация типов разъемов зарядных устройств; анализ тенденций развития зарядных устройств электромобилей.

Основной материал исследования

Зарядные устройства разделяются по уровням мощности, в США их называют Level 1, 2, 3.

Level 1 – это самая медленная зарядка переменным током до 16 А и напряжением 120 В, пиковая мощность 2 кВт. Для среднего электромобиля время заряда около 12 часов до полной зарядки. С такой скоростью любой автомобиль можно заряжать без специальной инфраструктуры, просто вставив адаптер в розетку.

Level 2 – это зарядка переменным током до 30 А и напряжением 240 В, пиковая мощность 7 кВт.

Level 3 – самая мощная, быстрая зарядка. 300…600 В, 100 и более ампер. Зарядка способна зарядить автомобильную батарею от 0 до 80 % за 30 минут [4].

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

В Европе похожая ситуация – стандарт IEC 62196 определяет следующие режимы зарядки (Mode 1, 2, 3, 4):

Mode 1 – это прямое пассивное подключение к электросети переменного тока. Подключение не требует дополнительных управляющих устройств. Это домашняя зарядка от стандартной розетки с простым удлинителем, без каких-либо мер безопасности [1…4]. Зарядка осуществляется переменным током 16 А и напряжением 240 В с пиковой мощностью до 4 кВт.

Mode 2 – прямое подключение транспортного средства к сети питания переменным током, т. е. зарядка в домашних условиях от обычной розетки, но с использованием специального адаптера. Обычно он идет в комплекте с новым электромобилем. Этот адаптер обеспечивает заземление, защиту от резкого перепада напряжения, температурную защиту. Адаптеры Mode 2 гарантируют средний уровень безопасности и являются минимальной нормой для зарядки авто. Зарядка осуществляется переменным током до 32 А и напряжением 240 В.

Mode 3 – это активное подключение электромобиля к проводной зарядной станции переменного тока с заземлением и приборами управления, а также адаптером с дополнительными токопроводящими жилами. Зарядная станция режима Mode 3 дает возможность получать более высокий уровень энергии, чем в режиме Mode 2. Протоколы безопасности идентичны. Зарядка осуществляется 3-фазным переменным током до 63 А, напряжением 690 В, с пиковой мощностью до 43 кВт [1]. При этом стандарт IEC 62196 описывает два типа применяемых разъемов. Их внешний вид представлен на рис. 1.

Режим Mode 3, Тип 1 (см. рис. 1а) – однофазные разъемы. Максимальная допустимая мощность 7,2 кВт. Другое название данного разъема SAE J1772.

Режим Mode 3, Тип 2 (см. рис. 1б) – трехфазные разъемы. Другое распространенное название такого разъема Mennekes – по названию разработавшей его компании. Максимальная допустимая мощность 43 кВт. При использовании зарядной станции режима Mode 3 нужно обязательно обращать внимание на то, какая имеется фактически доступная мощность. Обычно эта информация указывается на конкретной станции (наклейка) или в системе коммерческого оператора [5].

Mode 4 – подключение электромобиля к проводной станции постоянного тока. Оборудование для зарядки электромобилей является промежуточным звеном между источником питания и зарядным портом транспортного средства. Его роль заключается в том, чтобы подать постоянный ток в автомобиль безопасно и быстро. В зарядных станциях постоянного тока зарядное устройство является частью станции, а не автомобиля [1].

Быстрая зарядка постоянным током допускает зарядный ток до 400 А напряжением 600 В с максимальной пиковой мощностью до 240 кВт.

Сегодня существует два вида станций постоянного тока – CHAdeMO и CCS (Combined Charging System). Обобщающие термины – «комплексы экспресс-зарядки», или «быстрые зарядные станции».

CHAdeMO – изначально японская разработка, сегодня применяется на электромобилях Nissan, Mitsubishi Motors и Kia.

CCS – европейская разработка, применяется на электромобилях BMW и Volkswagen.

Их внешний вид показан на рис. 2.

CHAdeMO и CCS используют разные виды разъемов и коммуникационных протоколов. Технически CHAdeMO использует CAN (локальную сеть контроллеров), а CCS – PLC (программируемый логический контроллер) для обмена данными между зарядной станцией и электромобилем. Сегодня на рынке представлены также комплексы экспресс-зарядки, в которых оба стандарта совмещены в одном устройстве.



а б

Рис. 1. Типы разъемов для режима Mode 3: *а* – Тип 1; *б* – Тип 2

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



Рис. 2. Типы разъемов для режима Mode 4



Рис. 3. Основные стандарты зарядки без Tesla и японского CHAdeMO

Технически режим Mode 4 позволяет зарядить тяговую батарею электромобиля до 100 %, однако физически зарядка последних примерно 20 % емкости требует существенно больше времени, т. к. идет балансировка ячеек (отдельных аккумуляторов тяговой батареи). В этой связи большинство станций настроены на заряд тяговой батареи до 80 % ее емкости для оптимизации временных затрат.

Обособленно в ряду серийно выпускаемых электромобилей стоит TeslaMotors. Компания развивает собственную сеть комплексов экспресс-зарядки – Tesla Supercharger.

Это закрытый стандарт TeslaMotors зарядки постоянным током, станции совместимы только с электромобилями производства TeslaMotors [5].

В США стандарт для большей части автомобилей – SAE (J1772). Быстрая зарядка по стандарту допускает постоянный ток с напряжением 500 В и силой тока до 200 А, то есть мощностью 100 кВт.

По решению Европейской Комиссии в Европе основным стандартом является Typ 2. Основные стандарты зарядки для США, Европы и Китая представлены на рис. 3.

В Китае используется разъем GB/T 20234, часто называемый просто GBT. Он похож на европейский Mennekes, но с ним не совместим.

На рис. 4 представлены стандарты быстрой зарядки постоянным током в разных странах.

Для зарядки постоянным током в Европе предложен разъем SAE Combo2. Он аналогичен американскому SAE Combo, однако сделан не по стандарту J1772, но совместим с Mennekes.



Рис. 4. Стандарты быстрой зарядки постоянным током в разных странах

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

Выводы

В Старом и Новом свете ситуация со стандартами быстрых зарядок похожая. Японские производители поддерживают CHAdeMO, одинаковый во всем мире, у Tesla свой стандарт, но разный для США и Европы, все остальные производители продвигают в США SAE Combo, а в Европе – SAE Combo2. Ключевое разделение зарядок по уровню мощности: обычные и быстрые зарядки. Обычные зарядки – Level 1, Level 2 для США; Mode 1, Mode 2 для Европы. Быстрые – Level 3 в США; Mode 3, Mode 4 в Европе. На сегодня имеется тенденция замещения зарядных станций переменного тока зарядными станциями постоянного тока.

Список литературы

1. Способ зарядки электромобилей – как это всё работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ecotechnica.com.ua/stati/786-sposoby-zaryadki-elektromobilej-kak-eto-vse-rabo aet.html
2. Зарядка электромобиля: где и как правильно «заправлять» электрокар, особенности домашних зарядных устройств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// ecote chnica.com.ua/stati/2761-pravilnyj-podkhod-k-pod zaryadke-elektromobilya.html
3. Электромобили смогут полностью заряжаться за 5 минут [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gearmix.ru/archives/ 35948
4. Что нужно знать о типах зарядок для электромобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://autogeek.com.ua/chto-nuzhno-znat-o-tipah-zaryadok-dlya-elektromobiley/
5. Типы зарядок электромобилей: какой выбрать, чтобы заряжаться в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://auto geek.com.ua/tipyi-zaryadok-elektromobiley-kakoy-vyibrat-chtobyi-zaryazhatsya-v-ukraine/

V.I. Kalashnikov /Dr. Sci. (Eng.)/, A.O. Khmara
Donetsk National Technical University (Donetsk)

ANALYSIS OF DEVELOPMENT TRENDS OF CHARGING DEVICES FOR ELECTRICAL VEHICLES

Background. *Today, there is a pronounced trend of the world automotive industry leaders to create and sell electric vehicles. Undoubtedly, in the not too distant future, the electric vehicles will own the road space. The main advantage of electric vehicles is the ability to charge them anywhere where there is a conventional household electricity network. But each company offers its own product.*

Materials and/or methods. *The design of both the chargers and cable connectors still differs. Manufacturers in Japan, China, Europe and the USA offer their types of connectors. The problem is that today there are many types of chargers both AC and DC. Unification and classification needed. This is especially important for AC chargers. Today they are the most common. DC chargers are just beginning to come out on the market, but there are already many types of them from different companies.*

Results. *Thus, we can divide chargers by power level: normal and fast chargers. Normal chargers – Level 1, Level 2 for the US; Mode 1, Mode 2 for Europe. Fast chargers – Level 3 in the USA; Mode 3, Mode 4 in Europe.*

Conclusion. *Slowly, manufacturers are moving from AC chargers to DC chargers (also called fast chargers), where the battery charged at 80 % in about 30 minutes. Both in the Old and New World, there is a very similar situation with the standards of fast charging. Japanese manufacturers support CHAdeMO standard, which is the same all over the world. Tesla has its own standard but different for the US and Europe. All other manufacturers promote SAE Combo in the US and SAE Combo2 in Europe.*

Keywords: *charging, charger, connector type, connector standard.*

Сведения об авторах

В.И. Калашников
SPIN-код: 8002-9286
Author ID: 855701
ORCID iD: 0000-0001-5116-1486
Телефон: +380 (71) 334-92-91
Эл. почта: viktor_kalashnikov@donntu.org

А.О. Хмара
Телефон: +380 (71) 427-71-62
Эл. почта: anton.xmara@yandex.ua

Статья поступила 02.03.2018 г.

© В.И. Калашников, А.О. Хмара, 2018

Рецензент д.т.н., проф. Э.Г. Куренный

УДК 621.3.011

А.В. Корощенко /к.т.н./, Е.А. Журавель /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В работе проведен анализ способов аппроксимации характеристик нелинейных элементов методами наименьших квадратов, выбранных точек, линейной и сплайн-интерполяции. Проведено сравнение использования данных методов, а также проведена оценка качества преобразования функций при использовании четырех рассматриваемых способов аппроксимации.

Ключевые слова: *нелинейный элемент, вольтамперная характеристика, аппроксимация характеристики, метод наименьших квадратов, метод выбранных точек, линейная интерполяция, сплайн-интерполяция.*

Постановка проблемы

Все методы анализа и расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока используют вольтамперные характеристики резисторов, которые могут быть представлены таблицей или в виде графиков. При использовании аналитических методов расчета нелинейных электрических цепей прибегают к аппроксимации характеристик. От выбора способа аппроксимации характеристики зависит погрешность результатов расчета. Таким образом, правильный выбор способа аппроксимации является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций

Исходя из реально существующих резистивных элементов можно указать шесть видов типовых зависимостей вольтамперных характеристик:

– функция в зависимости от аргумента монотонно возрастает, причем наблюдается ее насыщение (темпы роста замедляются);

– функция монотонно возрастает, причем с ускорением;

– функция монотонно возрастает, но на отдельном участке наблюдается стабилизация функции;

– функция монотонно возрастает, но на отдельном участке наблюдается стабилизация аргумента (почти скачок функции);

– функция в целом возрастает, но на отдельном участке наблюдается снижение функции (участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением);

– функция в целом растет, но на отдельном участке наблюдается снижение аргумента при продолжении роста функции. Последняя характеристика является неоднозначной функцией аргумента.

Все вышеуказанные характеристики рассматриваются только в первом квадранте декартовой системы координат. Это обусловлено тем, что резисторы являются такими пассивными элементами, которые преобразуют электрическую энергию в тепловую, то есть мгновенная мощность, которую они потребляют, может быть только положительной. Значит, функция всегда положительна, если аргумент положительный, и она отрицательна, если аргумент отрицательный. Если возникает необходимость в использовании двух квадрантов, полную характеристику можно составить из двух частей.

Использование трансцендентных функций крайне ограниченно по следующим причинам: использование только одной функции не позволяет аппроксимировать функции третьего-шестого типов и, как правило, не дает достаточной точности, а использование комбинации нескольких функций приводит к значительным усложнениям при определении коэффициентов. Определение коэффициентов экспоненциального полинома (например, методом наименьших квадратов) не является простым заданием. Таким образом, наиболее приемлемой формой аппроксимации является применение степенного полинома. Эта функция универсальна, то есть при помощи степенного полинома можно аппроксимировать с достаточной точностью подавляющее большинство реально существующих характеристик; система уравнений для определения коэффициентов полинома оказывается алгебраической и решается достаточно просто. Универсальность функции дает эффект, когда возникает потребность преобразовать вольтамперную характеристику (зависимость напряжения от тока) в ампер-вольтную (зависимость тока от напряжения). Именно на таком преобразовании осно-

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

ваны методы расчета нелинейных цепей, которые рассматриваются ниже. Еще одной возможностью аппроксимации нелинейных характеристик является использование встроенных в математическую компьютерную систему Mathcad линейной и сплайновой интерполяций [1,4].

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является сравнение различных способов аппроксимации вольтамперных характеристик, с точки зрения создаваемых ими погрешностей, и выработка рекомендаций по применению способов аппроксимации в зависимости от типа аппроксимируемой характеристики.

Основной материал исследования

На рис.1 приведены типы графиков реально существующих резистивных элементов. Если функцией (ординатой) считать напряжение, а аргументом (абсциссой) – ток, то зависимость первого типа характерна для диода в проводящем направлении, второй тип характерен для лампы накаливания с металлической нитью или диода в непроводящем направлении, третий тип соответствует кенотрону, четвертый – бареттеру, пятый – электрической дуге, шестой – туннельному диоду [1,2,6].

В случае аналитического представления нелинейных характеристик возможно использование степенного полинома ($y=a_0+a_1\cdot x+a_2\cdot x^2+a_3\cdot x^3+\ldots+a_n\cdot x^n$) [2], экспоненциального полинома ($y = a_1\cdot e^{b_1\cdot x} + a_2\cdot e^{b_2\cdot x} + \ldots + a_n\cdot e^{b_n\cdot x}$), а также следующих трансцендентных функций [3]:

– для функций первого типа:

$$y = a\cdot \mathrm{th}(\alpha x),\ y = a\cdot \mathrm{arctg}(\alpha x),\ y = a\cdot \mathrm{arsh}(\alpha x),$$

$$y = a^{(2n+1)}\sqrt{bx};$$

– для функций второго типа:

$$y = a\cdot \mathrm{arth}(\alpha x),\ y = a\cdot \mathrm{tg}(\alpha x),\ y = a\cdot \mathrm{sh}(\alpha x),$$

$$y = a\cdot x^{2n+1},\ y = a\cdot x^b\cdot e^{cx};$$

– для получения характеристик других типов при помощи трансцендентных функций используют их комбинации.

Для определения коэффициентов функции аппроксимирования (степенного полинома) предлагаются два метода [2,3,5] – метод выбранных точек и метод наименьших квадратов. Для этих методов характерно следующее: с увеличением количества точек, использованных при вычислении коэффициентов, точность аппроксимации

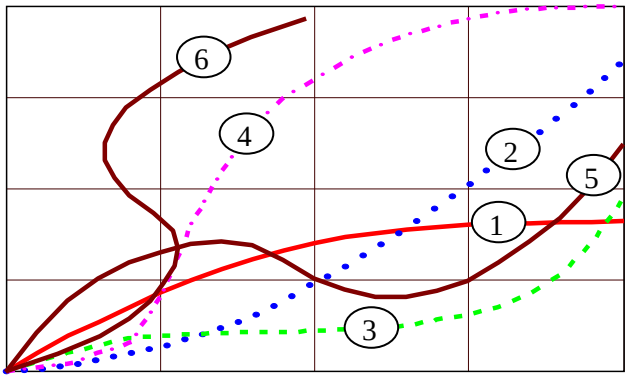


Рис. 1. Типы графиков резистивных элементов

возрастает. И, наоборот, с уменьшением количества слагаемых в формуле возрастает погрешность. В методе выбранных точек их количество должно равняться количеству слагаемых. Таким образом, если ограничиться, например, степенями до девятой включительно, количество точек составит всего десять. Метод наименьших квадратов может оперировать с любым количеством точек, то есть в этом компоненте он имеет преимущество. Однако при вычислении коэффициентов этим методом количество слагаемых может оказаться ограниченным, поскольку матрица коэффициентов при большом количестве слагаемых [7…9] становится сингулярной (вырожденной) или коэффициенты матрицы достигают слишком больших значений, вследствие чего ее обратная матрица не вычисляется. Здесь преимущество на стороне метода выбранных точек.

Методика линейной и сплайн-интерполяции, которая используется в системе Mathcad, является достаточно удобной в использовании, но она не дает формулы в явном виде, что может ограничить возможности анализа полученных результатов.

Любая аппроксимация используется для заранее заданного рабочего участка характеристики. Будем считать точность достаточной, если среднеквадратическое отклонение аппроксимированной функции от заданной по отношению к наибольшему значению функции на рабочем участке не превышает 5 %. Причем расчет относительного среднеквадратического отклонения в методе наименьших квадратов выполняется для всех точек, координаты которых использованы при вычислении коэффициентов. В трех других методах, по определению, характеристика проходит через выбранные точки. Поэтому относительное среднеквадратическое отклонение вычисляется для точек посредине каждого отрезка между выбранными точками. При расчетах применяются следующие формулы [9]:

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

– метод наименьших квадратов:

$$k = 0\ldots m, \quad dX = \frac{X_m}{m}, \quad X_k = kdX, \quad Y_k = f(X_k),$$

$$i = 0\ldots n, \quad j = 0\ldots n, \quad A_{ij} = \sum_k^m (X_k)^{i+j},$$

$$B_i = \sum_k^m \left[Y_k (X_k)^i\right], \quad aa = A^1 B,$$

$$y(x) = \sum_{k=0}^m (x^k aa_k), \quad d = \frac{\sum_{k=0}^m (y(X_k) - f(X_k))^2}{m},$$

$$p = \frac{\sqrt{d}}{Y_m} 100,$$

где m+1=21 – количество использованных точек; X_m – максимальное значение аргумента на рабочем участке; dX – шаг изменения аргумента; n – наивысшая степень слагаемых функции аппроксимирования; X – вектор значений аргумента; Y – вектор соответствующих значений функции; расчет выполняется в циклах, переменными в которых являются i, j, k; $f(x)$ – аналитическая функция, взятая в качестве истинной; aa – вектор коэффициентов функции аппроксимирования; $y(x)$ – функция аппроксимирования; $\sqrt{d}$ – среднеквадратическое отклонение (дисперсия); p – относительное среднеквадратическое отклонение (погрешность аппроксимации), выраженное в процентах;

– метод выбранных точек:

$$i = 0\ldots 9, \quad j = 0\ldots 9, \quad dX = \frac{X_m}{9},$$

$$X_j = j \cdot dX, \quad Y_j = f(X_j)$$

$$A_{ij} = (X_i)^j, \quad aa = A^{-1} Y, \quad y(x) = \sum_{k=0}^9 (x^k aa_k),$$

$$d = \frac{\sum_{k=1}^m (y(0{,}5(X_k + X_{k-1}) - f(0{,}5(X_k + X_{k-1}))^2}{9},$$

$$p = \frac{\sqrt{d}}{Y_m} 100,$$

где количество использованных точек – 10; Y – вектор соответствующих значений функции; расчет выполняется в циклах, переменными в которых являются i, j;

– метод линейной и сплайн-интерполяции:

$$k = 0\ldots m, \quad dX = \frac{X_m}{m}, \quad X_k = kdX, \quad Y_k = f(X_k);$$

$$s = pspline(X, Y), \quad y(x) = interp(s, X, Y, x),$$

(для линейной аппроксимации $y(x)$=*linterp*(X, Y,x)):

$$d = \frac{\sum_{k=1}^m (y(0{,}5(X_k + X_{k-1}) - f(0{,}5(X_k + X_{k-1}))^2}{9},$$

$$p = \frac{\sqrt{d}}{Y_m} 100,$$

где m+1=21 – количество использованных точек; Y – вектор соответствующих значений функции; расчет выполняется в цикле, переменной в котором является k; *pspline*(X,Y) – вектор значений коэффициентов квадратичного сплайна, s – вектор вторых производных, созданный функцией сопровождения; *interp*(s,X,Y,x) – функция, аппроксимирующая данные векторов X и Y.

Выполним аппроксимацию характеристики первого типа. В качестве заданной, возьмем трансцендентную функцию $f(x)=a\cdot\text{th}(\alpha x)=2\cdot\text{th}(0{,}1x)$ (рис. 2). Вначале рассмотрим случай, когда точки берутся при условии равномерного шага аргумента x. Ограничимся девятой степенью характеристики аппроксимирования. Таким образом, для метода выбранных точек будем использовать 10 точек, а для остальных трех методов – 21 точку. Изменение наклона характеристики реализуется изменением максимального значения аргумента X_m. Результаты расчета сведены в табл. 1. В табл. 1 первый метод – метод наименьших квадратов, второй – метод выбранных точек, третий – метод сплайн-интерполяции, четвертый – линейная интерполяция.

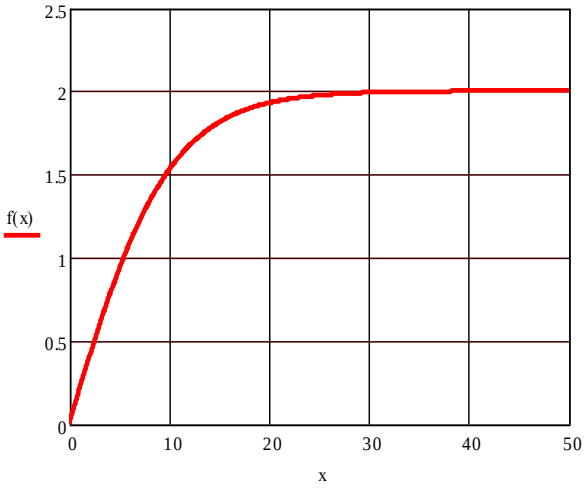


Рис. 2. Исследуемая зависимость: $f(x)=2\cdot\text{th}(0{,}1x)$

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

Для первого метода, помимо погрешности аппроксимирования, дополнительно определялась наивысшая степень слагаемых функции аппроксимирования *n*.

Как видим, наклон кривой незначительный, аппроксимирование всеми методами дает очень точные результаты. При увеличении насыщения функции погрешность растет, но остается в приемлемых границах (менее 1 %). При этом наиболее точным оказался метод выбранных точек.

Выполним те же расчеты при условии неравномерности шага изменения аргумента. Эту неравномерность будем оценивать как отношение наибольшего шага к наименьшему: $nr=dX_{\max}/dX_{\min}$. Неравномерность получим при условии равномерного шага изменения функции.

Изменение наклона характеристики реализуется изменением максимального значения функции Y_m.

Результаты расчета сведены в табл. 2. В табл. 2 первый метод – метод наименьших квадратов, второй – метод выбранных точек, третий – метод сплайн-интерполяции. Для первого метода, помимо погрешности аппроксимирования, дополнительно определялась наивысшая возможная степень слагаемых аппроксимирующей функции *n*.

Как видим из табл. 2, качество аппроксимации всеми методами зависит от неравномерности шага изменения аргумента, ухудшаясь с ростом неравномерности. Но и в этих условиях погрешность остается незначительной.

Таким образом, в случае монотонной функции любая из рассмотренных аппроксимаций может быть использована.

Рассмотрим функцию пятого типа с участком с отрицательным дифференциальным сопротивлением при условии равномерного шага изменения аргумента. Формула для такой функции была получена путем комбинации трансцендентных функций (рис. 3):

$$f(x) = 40 \cdot \mathrm{th}(0{,}08x) + 0{,}01 \cdot \mathrm{sh}(0{,}5x) - 40 \cdot \mathrm{tg}(0{,}05x).$$

При данных m=20, X_m=16, dX=0,8 в методе наименьших квадратов получены следующие результаты аппроксимирования: n=7, p=0,049 %. В методе выбранных точек: n=9, X_m=16, dX=1,778, $p=6{,}89\cdot10^{-3}$ %. В методе сплайн-интерполяции: m=20, X_m=16, dX=0,8, p=0,011 %; при условии линейной интерполяции: p=0,02 %.

Таким образом, все четыре способа аппроксимации дают высокую точность для любой формы графика функции, как при равномерном шаге изменения аргумента, так и при достаточно большой неравномерности шага. По сравнению с другими, несколько худшие показатели у линейной аппроксимации.

Напоследок рассмотрим аппроксимацию функции при условии ее резкого увеличения на отдельном участке (четвертый тип графика, см. рис. 1). Этот график задан табл. 3.

Табл. 1. Сравнение методов аппроксимирования при условии равномерного шага аргумента

№	*Xm*	10	20	25	30	35	40	50
1	*n*	9	7	7	6	6	6	6
	p, %	$3{,}1\cdot10^{-3}$	$3{,}11\cdot10^{-3}$	$8{,}69\cdot10^{-3}$	0,028	0,082	0,158	0,335
2	*p*, %	$1{,}08\cdot10^{-6}$	$5{,}77\cdot10^{-4}$	$1{,}18\cdot10^{-3}$	$6{,}12\cdot10^{-3}$	0,02	0,039	0,064
3	*p*, %	$1{,}18\cdot10^{-3}$	$7{,}41\cdot10^{-3}$	0,014	0,024	0,038	0,055	0,105
4	*p*, %	$2{,}05\cdot10^{-3}$	0,013	0,025	0,042	0,066	0,098	0,335

Табл. 2. Сравнение методов аппроксимирования при условии неравномерного шага аргумента

	Ym	0,4	0,8	1,2	1,6	1,8	1,9	1,95
1	*n*	13	11	9	8	7	7	7
	nr	1,04	1,18	1,52	2,559	4,392	7,284	11,343
	p, %	$2{,}37\cdot10^{-4}$	$6{,}71\cdot10^{-4}$	$3{,}07\cdot10^{-3}$	$8{,}63\cdot10^{-5}$	$1{,}34\cdot10^{-4}$	$7{,}03\cdot10^{-4}$	$1{,}52\cdot10^{-3}$
2	*nr*	1,037	1,166	1,473	2,347	3,724	5,619	7,96
	p, %	$1{,}09\cdot10^{-9}$	$2{,}05\cdot10^{-9}$	$2{,}57\cdot10^{-7}$	$1{,}13\cdot10^{-5}$	$1{,}09\cdot10^{-3}$	0,016	0,118
3	*nr*	1,04	1,18	1,52	2,559	4,392	7,284	11,343
	p, %	$1{,}16\cdot10^{-3}$	$4{,}2\cdot10^{-3}$	$7{,}56\cdot10^{-5}$	$7{,}0\cdot10^{-4}$	$3{,}96\cdot10^{-3}$	0,014	0,039
4	*nr*	1,04	1,18	1,52	2,559	4,392	7,284	11,343
	p, %	$1{,}45\cdot10^{-3}$	$6{,}4\cdot10^{-3}$	0,017	0,042	0,075	0,119	0,173

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

Табл. 3. Координаты точек функции четвертого типа

X	0	0,817	1,618	2,387	3,107	3,766	4,352	4,853	5,265	5,582	5,807
Y	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7
X	5,945	6,009	6,024	6,026	6,07	6,235	6,637	7,445	8,895	11,33	15,24
Y	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14	14,7

При условии равномерного шага изменения функции (неравномерного шага аргумента) при данных m=20, X_m=14, dX=0,7 в методе наименьших квадратов получены следующие результаты аппроксимирования: n=7, p=6,357 %. В методе выбранных точек: n=9, X_m=14, dX=1,556, $p=2{,}5\cdot10^5$ % (аппроксимация не состоялась). В методе сплайн-интерполяции: m=20, X_m=14, dX=0,7, p=0,01 %; при условии линейной интерполяции: p=0,02 %.

В случае равномерного шага аргумента можно улучшить результаты аппроксимирования первыми двумя методами: метод наименьших квадратов: n=8, p=4,615 %; метод выбранных точек: p=29,5 %.

На рис. 4 показаны результаты последней аппроксимации.

Как видим из рис. 4, недопустимо аппроксимировать функции четвертого типа методом выбранных точек. Методы наименьших квадратов и сплайн-интерполяции также дают неудовлетворительные результаты. Наблюдаемое явление по своему происхождению может быть приравнено к эффекту Гиббса, когда скачкообразная функция (например, прямоугольные импульсы) раскладывается в ряд Фурье [7,8]. Использованные в разложении синусоидальные функции, по сути, не являются скачкообразными. Поэтому в местах перелома графика наблюдаются характерные выбросы даже при большом количестве составляющих. Здесь аналогично. Степенная функция имеет плавный характер. Поэтому в местах быстрого изменения функции наблюдаются значительные отклонения при аппроксимировании методами наименьших квадратов, сплайн-интерполяции и выбранных точек, где по определению используются степенные функции. Здесь к месту оказывается метод линейной аппроксимации, но только при условии большого количества точек.

Оценим качество преобразования функции $y(x)$ в $x(y)$ и обратно при использовании четырех рассматриваемых способов аппроксимации.

Сначала выполним этот переход по отношению к функции первого типа (см. рис. 1), которая преобразуется в функцию второго типа.

В качестве исследуемой функции возьмем функцию $y(x)$=40·th(0,08x).

Обратная ей функция $x(y)$=12,5·arth(0,025y).

Результаты аппроксимации прямой функции следующие.

Метод наименьших квадратов: m=20, X_m=30, dX=1,5, n=6, p=0,00935 %.

Метод выбранных точек: n=9, X_m=30, dX=3,333, $p=9{,}91\cdot10^{-4}$ %.

Метод сплайн-интерполяции: m=20, X_m=30, dX=1,5, n=6, p=0,012 %.

Метод линейной интерполяции: p=0,022 %.

Обратная функция определялась через прямую функцию $f(x)$ в каждом методе с помощью массива точек – по массиву данных аргумента X с равномерным шагом dX при помощи функции $f(x)$ определялся соответствующий массив данных Y. Проверка выполнялась с использованием исходной функции $x(y)$.

Результаты аппроксимации обратной функции (при условии неравномерного шага изменения Y) следующие.

Метод наименьших квадратов: m=20, X_m=30, dX=1,5, n=6, p=0,00931 %.

Метод выбранных точек: n=9, X_m=30, dX=3,333, $p=6{,}499\cdot10^3$ % (аппроксимация не состоялась).

Метод сплайн-интерполяции: m=20, X_m=30, dX=1,5, $p=2{,}97\cdot10^{-3}$ %.

Метод линейной интерполяции: $p=4{,}0\cdot10^{-3}$ %.

Для метода выбранных точек пришлось пересчитывать массив данных, чтобы получить равномерный шаг изменения Y. После этого была получена следующая погрешность: p=0,466 %.

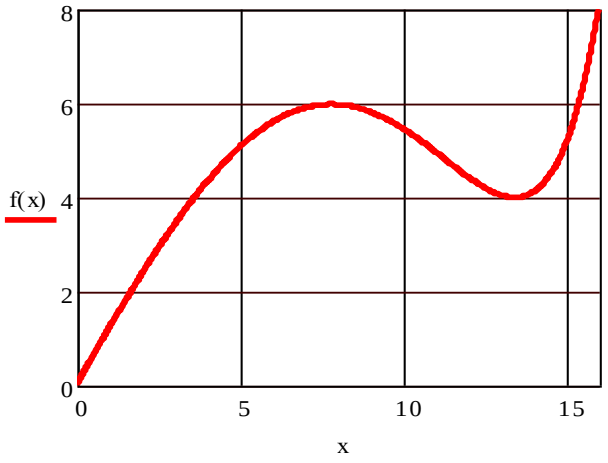


Рис. 3. Исследуемая зависимость:
$f(x)$=40·th(0,08x)+0,01·sh(0,5x)–40·tg(0,05x)

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

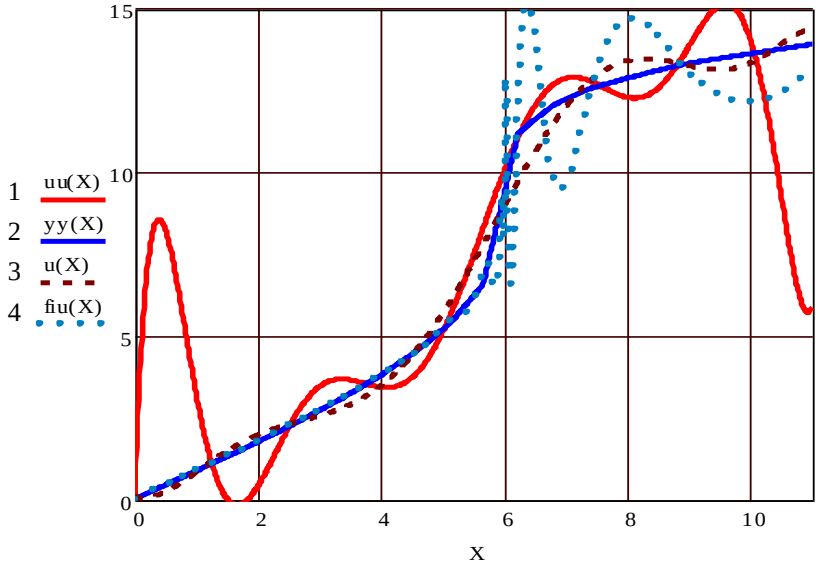


Рис. 4. Аппроксимация функции четвертого типа при условии равномерного шага аргумента следующими методами:
1 – выбранных точек; *2* – линейной интерполяции; *3* – наименьших квадратов;
4 – сплайн-интерполяции

Выполним такой же переход по отношению к функции третьего типа (см. рис. 1) как наиболее сложной с точки зрения аппроксимирования (функции пятого и шестого типов не являются однозначными и трансформации не подлежат). В качестве исследуемой функции возьмем функцию $y(x)=40\cdot\text{th}(0{,}08x)-31\cdot\text{tg}(0{,}05x)+0{,}01\cdot\text{sh}(0{,}5x)$.

Результаты аппроксимации прямой функции следующие.

Метод наименьших квадратов: $m=20$, $X_m=16$, $dX=0{,}8$, $n=6$, $p=0{,}102$ %.

Метод выбранных точек: $n=9$, $X_m=16$, $dX=1{,}778$, $p=3{,}2\cdot10^{-3}$ %.

Метод сплайн-интерполяции: $m=20$, $X_m=16$, $dX=0{,}8$, $n=6$, $p=5{,}066\cdot10^{-3}$ %.

Метод линейной интерполяции: $p=8{,}79\cdot10^{-3}$ %.

Результаты аппроксимации обратной функции по методу линейной интерполяции, погрешность которой мало зависит от вида характеристики, практически остались теми же. Результаты при условии неравномерного шага изменения Y следующие.

Метод наименьших квадратов: $m=20$, $X_m=16$, $dX=0{,}8$, $n=7$, $p=3{,}049$ %.

Метод выбранных точек: $n=9$, $X_m=16$, $dX=1{,}778$, $p=2{,}689\cdot10^{3}$ % (аппроксимация не состоялась).

Метод сплайн-интерполяции: $m=20$, $X_m=16$, $dX=0{,}8$, $p=7{,}4\cdot10^{-3}$ %.

После пересчета массива данных для получения равномерного шага Y результаты улучшились.

Метод наименьших квадратов: $m=20$, $Y_m=17{,}226$, $dY=0{,}861$, $n=7$, $p=2{,}72$ %.

Метод выбранных точек: $n=9$, $Y_m=17{,}226$, $dY=1{,}914$, $p=15{,}74$ % (аппроксимация неудовлетворительная).

Выводы

Наиболее пригодными для аппроксимации реальных вольтамперных характеристик резисторов можно считать четыре метода: метод наименьших квадратов и метод выбранных точек с использованием степенного полинома, линейная интерполяция и сплайн-интерполяция, встроенные в компьютерную систему Mathcad.

Если количество точек невелико (5…8), а характеристика по характеру несложная, для аппроксимации следует использовать метод выбранных точек и метод сплайн-интерполяции. При условии большого количества точек (20 и более) хорошие показатели у метода наименьших квадратов.

В случае характеристики типа 3…6 и большого количества точек лучше использовать метод линейной интерполяции.

Чтобы достичь наилучших результатов (наименьшей погрешности) во время аппроксимирования, следует использовать комбинацию рассмотренных методов. При преобразовании характеристики $y(x)$ в обратную характеристику $x(y)$ не следует использовать метод выбранных точек, а при использовании необходимо пересчитывать данные под равномерный шаг изменения Y. В случае достаточно простой функции (первого или второго типа) методы наименьших квадратов и выбранных точек лучше, чем интерполяционные методы Mathcad при аппроксимации прямой функции. Интерполяционные методы следует применять к обратным функциям.

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

Список литературы

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.
2. Белецкий, А.Ф. Анализ нелинейных резистивных электрических цепей: Учебн. пособие для студентов специальностей 2305, 2306, 2307/ А.Ф. Белецкий, В.Ф. Дмитриков, Ю.И. Лыпарь. – Л.: ЛЭИС, 1990. – 30 с.
3. Филиппов, Е.С. Нелинейная электротехника / пер. с нем. под ред. канд. техн. наук А.Б.Тимофеева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергия, 1976. – 496 с.
4. Кирьянов, Д.В. Самоучитель Mathcad 11. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 530 с.
5. Кушнир, В.Ф. Теория нелинейных электрических цепей / В.Ф. Кушнир, Б.А. Ферсман. – М.: Связь, 1974. – 384 с.
6. Матвиенко, В.А. Основы теории цепей: Учебное пособие для вузов. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. – 162 с.
7. Бакалов, В.П. Основы теории цепей: Учебное пособие для вузов / В.П. Бакалов, В.Ф. Дмитриков, Б.И. Крук; под ред. В.П. Бакалова. – 4-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 596 с.
8. Потапов, Л.А. Основы теории цепей: Учебное пособие для академического бакалавриата. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 198 с.
9. Batty, M. Essential Engineering Mathematics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zums.ac.ir/files/research/site/ebooks/mathematics/essential-engineering-mathematics.pdf

A.V. Koroshchenko /Cand. Sci. (Eng.)/, E.A. Zhuravel /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

ANALYSIS AND COMPARISON OF METHODS FOR APPROXIMATING NONLINEAR ELEMENTS CHARACTERISTICS IN DC CIRCUITS

Background. *The methods for approximation of characteristics of nonlinear elements by least squares, selected points, linear and spline interpolation analyzed in the paper. Made a comparison of the used methods and assessed the quality of the function y(x) conversion into x(y) when using four ways of approximation. Recommendations on the use of approximation methods depending on the type of the approximated characteristic given.*

Materials and/or methods. *Carried out the comparative analysis of four approximation methods for nonlinear current-voltage characteristics. The errors of these methods depending on the type of nonlinear characteristics determined.*

Results. *Shown that four methods of approximation can be used but the errors of the results of calculation of nonlinear circuits are strongly dependent on the type of the approximated current-voltage characteristic.*

Conclusion. *If the number of points is small (5…8) and the characteristic is simple, the method of selected points and the spline interpolation method should be used for approximation. In the condition of a large number of points (20 or more), the least squares method has good indicators. In the case of the characteristics of the type 3…6 and the number of large points, better used the linear interpolation method. When converting the function y(x) to x(y) you should not use the method of selected points. In the case of a simple function (of the first or second type), the least square methods of the selected points are better than the interpolation Mathcad methods of approximation of the direct function. The interpolation methods applied to inverse functions.*

Keywords: *nonlinear element, volt-ampere characteristic, approximation of characteristic, linear interpolation.*

Сведения об авторах

А.В. Корощенко
SPIN-код: 7871-5949
Телефон: +380 (71) 355-09-59
Эл. почта: korosh_aleks@mail.ru

Е.А. Журавель
SPIN-код: 3996-0795
Телефон: +380 (71) 322-30-66
Эл. почта: zhuravel.e.a@mail.ru

Статья поступила 27.04.2018 г.
© А.В. Корощенко, Е.А. Журавель, 2018
Рецензент д.т.н., доц. И.А. Бершадский

УДК 621.313.32

А.М. Ларин /к.т.н./, И.И. Ларина /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

На основании исследования результатов многовариантного математического моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов в турбогенераторе типа ТГВ-200М разработаны рекомендации по использованию эквивалентных схем замещения различных структур для уточненного расчета токораспределения в обмотках статора, возбуждения и массивных конструктивных элементах ротора генератора.

Ключевые слова: *турбогенератор, схема замещения, моделирование, переходный процесс, токораспределение, обмотка возбуждения.*

Постановка проблемы

Один из подходов исследования переходных процессов в синхронных машинах (СМ) основан на схемах замещения физически обоснованных структур, имеющих различную степень детализации и отражающих связь между токами и потокосцеплениями в магнитносвязанных контурах машины. В настоящее время известно большое число сложных эквивалентных схем замещения СМ с различными структурами, отражающими взаимные связи их отдельных конструктивных элементов [1…3]. Эти схемы разработаны в проектных организациях и используются для уточненного определения распределения токов в демпфирующих контурах, оценки влияния различных участков конструкции на результирующие параметры машины в установившихся анормальных режимах, вызванных несимметричной нагрузкой, несимметричными короткими замыканиями, неполнофазными и асинхронными режимами.

Исследование электромагнитных и электромеханических переходных процессов во времени на основе дифференциальных уравнений с помощью таких эквивалентных схем высокого порядка вызывает принципиальные сложности. При расчете неустановившихся режимов, например в операторной форме, это приводит к громоздким выкладкам, не всегда дающим возможность при практических расчетах выполнить переход во временную область.

Поэтому использование сложных детализированных схем к моделированию промышленных машин, особенно турбогенераторов, в условиях эксплуатации, когда имеет место влияние элементов питающей сети, неэффективно.

Вместе с тем имеется широкий круг задач, когда достаточно определить точно только распределение токов в контуре обмотки возбуждения генератора (ОВГ) и эквивалентно в массивных конструктивных элементах ротора (ДС).

Для анализа протекания электромеханических переходных процессов во времени, как правило, используются упрощенные схемы замещения, на основании которых составляются дифференциальные уравнения типа уравнений Парка-Горева. Такой подход при использовании схем замещения общепринятого вида, в которых обмотка возбуждения представлена одним контуром, позволяет с достаточной точностью отражать переходные процессы только в обмотке статора.

В последние годы разрабатываются методы, позволяющие синтезировать схемы замещения с учетом явления вытеснения тока в ОВГ, путем представления ее многоконтурной цепью [3]. Разрабатываются также способы преобразования точных детализированных схем замещения к более простому виду, удобному для математического моделирования по дифференциальным уравнениям [4].

В этой связи становится актуальной задача анализа эффективности применения упрощенных схем замещения различных структур к уточненному исследованию переходных процессов в турбогенераторах.

Анализ последних исследований и публикаций

Математические модели турбогенераторов в виде эквивалентных схем замещения основываются на различных подходах к описанию их физических свойств. Самая общая модель может быть основана на уравнениях электромагнитного поля конкретной электрической машины (ЭМ) [5]. Теоретически это позволяет доста-

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

точно полно отразить все происходящие в ней явления.

В литературе точные схемы замещения рассматриваются обычно для явнополюсных синхронных машин, имеющих специальную демпферную систему на роторе. Основная сложность при составлении точных схем замещения неявнополюсных СМ с гладким ротором, к которым относятся турбогенераторы (ТГ), заключается в особенностях конструкции их роторов.

Как известно, ротор турбогенератора обычно не имеет специальной демпферной обмотки. Однако его массивные конструктивные элементы представляют собой мощный демпфер, состоящий из бочки ротора со сложной картиной проникновения магнитного потока, пазовых клиньев, бандажей и торцевых участков, где иногда устанавливают специальные демпферные гребенки. Представить массивную бочку ротора в виде отдельных демпферных контуров можно только с определенной степенью точности, и, следовательно, эквивалентная схема ТГ по существу соответствует схеме с распределенными параметрами. Основными особенностями эквивалентных схем турбогенераторов являются замена обычной демпферной ветви ветвями, соответствующими контурам массива ротора и пазовых клиньев; включение некоторых дополнительных контуров, обусловленных влиянием бандажей и массива ротора на потоки рассеяния обмоток статора и возбуждения.

Одна из возможных структур схем замещения турбогенератора разработана в [5] для расчета характеристик установившегося асинхронного режима. В них массив представлен в виде эквивалентных сопротивлений (по одному в активной и торцевой зонах ротора), а клинья – одним активным сопротивлением. В указанных схемах не рассматриваются токи в каждом клине и в отдельных элементах массива активной и торцевой зон ротора ТГ.

В [6] предложены сложные схемы замещения турбогенераторов применительно к расчету анормальных режимов, связанных с большими скольжениями, которые учитывают наличие на роторе реальных физических контуров, состоящих, с одной стороны, из элементов массивной бочки – головок больших и малых зубцов, периметров пазов, с другой – из клиньев ротора.

Для определения значений вихревых токов двойной частоты, наведенных в роторе турбогенератора электромагнитным полем статора при несимметричном режиме, в [7] разработана многоконтурная электрическая схема замещения, параметры которой рассчитываются по соотношениям, полученным из уравнений электромагнитного поля на основе теории поверхностного импеданса. В схеме отражено влияние обмотки статора, воздушного зазора; учтены сопротивления зоны бочки ротора на активной длине, сопротивления клиньев ротора, контактные сопротивления между клиньями и зубцами, сопротивления торцевой зоны бочки ротора, сопротивления торцевых клиньев и коронок зубцов, а также сопротивления бандажных колец.

Для исследования установившихся асинхронных режимов в [8] предлагается осуществлять моделирование СМ с массивным ротором многозвенными электрическими схемами замещения по продольной и поперечной осям ротора. Ее параметры получены из уравнений электромагнитного поля. Генератор представляется в поперечном сечении активной зоны совокупностью слоев, соответствующих конструктивным зонам магнитопровода с обмотками. Ротор ТГ на схеме замещения моделируется контурами коронок зубцов, клиньев, зубцов с обмоткой возбуждения, ярма, торцевых зон с кольцевыми проточками и бандажными кольцами.

Анализ структур и параметров упомянутых схем замещения показал, что непосредственно их невозможно использовать для расчета мгновенных значений параметров динамических режимов по дифференциальным уравнениям.

Наиболее перспективной с точки зрения использования для моделирования переходных процессов в динамических режимах являются схемы замещения, предложенные и полученные сотрудниками Сибирского НИИ энергетики (Россия), которые учитывают сложную взаимную индуктивную связь между контурами, расположенными на роторе. Отличительной особенностью этих схем замещения является то, что демпферные системы машины по продольной и поперечной осям ротора представляются в виде основного демпферного контура, охватывающего магнитный поток взаимоиндукции между статором и ротором, и ряда локальных контуров, охватывающих магнитные потоки рассеяния демпферных цепей и обмотки возбуждения. В этом случае обмотка возбуждения генератора, его демпферная система и взаимная индуктивность между ними характеризуются сложными зависимостями от скольжения высокого порядка.

В [4] разработаны подходы к преобразованию схем замещения к более простому виду, удобному для моделирования на основе адекватности частотных характеристик входных сопротивлений или проводимостей исходных и преобразованных схем замещения. Вместе с тем появляются в литературе работы, направленные на создание методов определения параметров схем

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

замещения турбогенераторов, в которых ОВГ учитывается самостоятельной многоконтурной цепью [3]. Такие же схемы можно получить путем преобразования сложных детализированных схем, предложенного в [4].

Цель (задачи) исследования

Целью работы является разработка рекомендаций по использованию при математическом моделировании турбогенераторов упрощенных эквивалентных схем замещения различных структур, синтезированных на основе сложных детализированных схем, для уточненного определения токораспределения в обмотках статора, возбуждения и массивных конструктивных элементах ротора турбогенератора.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить синтез упрощенных схем замещения различных структур, удобных для моделирования переходных процессов. На основании многовариантных исследований электромеханических переходных процессов оценить точность токораспределения в контурах статора и ротора СМ при различных возмущающих воздействиях и сформулировать рекомендации по использованию схем замещения различных структур для решения конкретных задач.

Основной материал исследования

В работе исследовались детализированные схемы замещения турбогенератора типа ТГВ-200М ($S_{ном}$=235 МВА, $P_{ном}$=200 МВт, $U_{ном}$= =15,75 кВ, x_σ=0,213, x''_d=0,213, x_q=1,754, x_d= =1,916). На рис. 1 показана схема замещения по продольной оси ротора турбогенератора типа ТГВ-200М. Схема замещения по поперечной оси отличается отсутствием цепей, отражающих обмотку возбуждения и взаимную индуктивную связь демпферной системы с ОВГ.

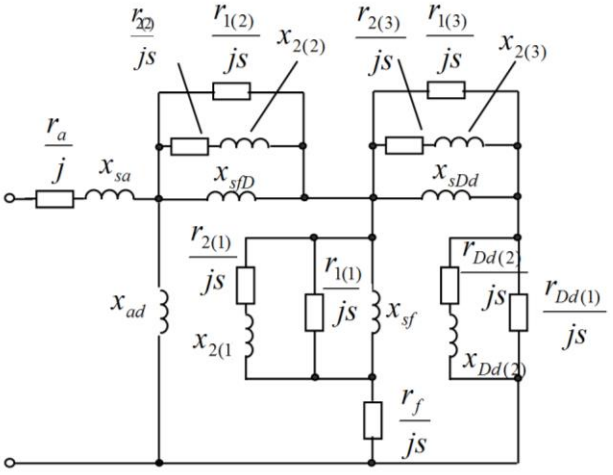


Рис. 1. Схема замещения турбогенератора ТГВ-200М высокого порядка

Методика проведения исследований заключалась в следующем.

На основании исходных сложных схем замещения по продольной и поперечной осям магнитной симметрии ротора для различных значений сопротивления рассеяние обмотки статора x_σ были синтезированы упрощенные схемы замещения, удобные для моделирования по уравнениям Парка-Горева.

По полученным схемам замещения были выполнены расчеты переходных процессов, происходящих при различных изменениях скорости вращения ротора:

1) без изменения скорости вращения ротора при внезапных трехфазных коротких замыканиях на выводах турбогенератора;

2) при малых изменениях скорости при выпадении из синхронизма и переходе к установившемуся асинхронному режиму в результате потери возбуждения;

3) при значительных изменениях скорости при включении невозбужденного генератора в сеть, вращающегося со скольжением, равным 3 %.

Оценивалось влияние внешнего сопротивления в цепи обмотки статора (сопротивление блочного трансформатора и индуктивное сопротивление системы) на электромеханические переходные процессы в асинхронных режимах генератора и включении его в сеть методом самосинхронизации.

Точность определения параметров, отражающих влияние обмотки возбуждения, оценивалась путем включения в цепь ОВГ дополнительного активного сопротивления в опытах, связанных со значительными изменениями скорости при включении невозбужденного генератора в сеть.

Исходные частотные характеристики проводимости со стороны обмотки статора $y_d(js)$ и $y_q(js)$ рассчитывались по параметрам детализированных схем замещения.

Выражение для определения частотной характеристики $y_d(js)$ имеет следующий вид:

$$y_d(js) = \frac{1}{x_d(js)}. \qquad (1)$$

В (1) частотная характеристика входного продольного сопротивления со стороны обмотки статора $x_d(js)$ рассчитывается по соотношению:

$$x_d(js) = \frac{x'_D x_{ad}}{x'_D + x_{ad}} + x_\sigma, \qquad (2)$$

где $x'_D = \frac{x_D(js)x_f(js)}{x_D(js)+x_f(js)} + x_{fD}(js)$.

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

Выражения для определения частотных характеристик сопротивлений, соответствующих определенным цепям ротора, имеют следующий вид.

Для эквивалентного массива ротора:

$$x_D(js)=\frac{x'_{2(3)}x_{\sigma Dd}}{x'_{2(3)}+x_{\sigma Dd}}+\frac{x'_{Dd(2)}\dfrac{r_{Dd(1)}}{js}}{x'_{Dd(2)}+\dfrac{r_{Dd(1)}}{js}}, \qquad (3)$$

где $x'_{2(3)}=\left(x_{2(3)}+\dfrac{r_{2(3)}}{js}\right)\dfrac{r_{1(3)}}{js}\left(x_{2(3)}+\dfrac{r_{2(3)}}{js}+\dfrac{r_{1(3)}}{js}\right)^{-1}$,

$x'_{Dd(2)}=x_{Dd(2)}+\dfrac{r_{Dd(2)}}{js}$.

Для ветви ОВГ:

$$x_f(js)=\frac{x'_{2(1)}x_{\sigma f}}{x'_{2(1)}}+\frac{r_f}{js}, \qquad (4)$$

где $x'_{2(1)}=\left(x_{2(1)}+\dfrac{r_{2(1)}}{js}\right)\dfrac{r_{1(1)}}{js}\left(x_{2(1)}+\dfrac{r_{2(1)}}{js}+\dfrac{r_{1(1)}}{js}\right)^{-1}$.

Для цепи, отражающей взаимную индуктивную связь между роторными контурами:

$$x_{fD}(js)=\frac{x'_{fD}x_{\sigma fD}}{x'_{fD}+x_{\sigma fD}}. \qquad (5)$$

где $x'_{fD}=\left(x_{2(2)}+\dfrac{r_{2(2)}}{js}\right)\dfrac{r_{1(2)}}{js}\left(x_{2(2)}+\dfrac{r_{2(2)}}{js}+\dfrac{r_{1(2)}}{js}\right)^{-1}$.

Синтез схемы замещения общепринятого типа (Т-образного вида) при представлении ОВГ одним контуром (рис. 2) осуществлялся по методике [4] на основании адекватности характеристики, рассчитываемой по выражению:

$$y_d(js)=\left(x_\sigma+\left(\frac{1}{x_{ad}}+\frac{js}{r_f+jsx_{\sigma f}}+\sum_{k=1}^{n}\frac{js}{r_{dk}+jsx_{\sigma dk}}\right)^{-1}\right)^{-1}. \qquad (6)$$

Для схемы с вынесенной на зажимы источника ветвью намагничивания (Г-образного типа) (рис. 3) параметры определялись из условия совпадения характеристики, которая рассчитывалась следующим образом:

$$y_d(js)=\frac{1}{x_d}+\sum_{k=1}^{n}\frac{js}{r_{dk}+jsx_{\sigma dk}}. \qquad (7)$$

Для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью учитывался комплексный коэффициент распределения тока обмотки статора в ветви обмотки возбуждения [4]. Схема замещения Т-образного вида по продольной оси симметрии ротора имеет вид, представленный на рис. 4.

В результате преобразований были получены параметры схем замещения различных структур, приведенные в табл. 1.

Отличие исходных частотных характеристик $y_d(js)$ и $y_q(js)$, рассчитываемых по (1) и соответствующих упрощенным схемам, во всех случаях практически совпали между собой. Отличие по действительной и мнимой составляющим не превысило 1,2 %.

Моделирование осуществлялось на ПЭВМ по программе, реализующей алгоритм интегрирования дифференциальных уравнений Парка-Горева методом Рунге-Кутта четвертого порядка.

Анализ результатов моделирования переходных процессов при внезапном трехфазном

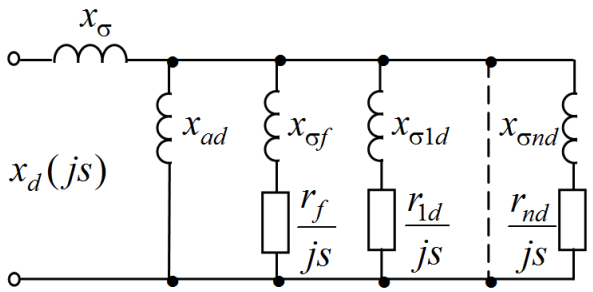


Рис. 2. Т-образная схема замещения по продольной оси

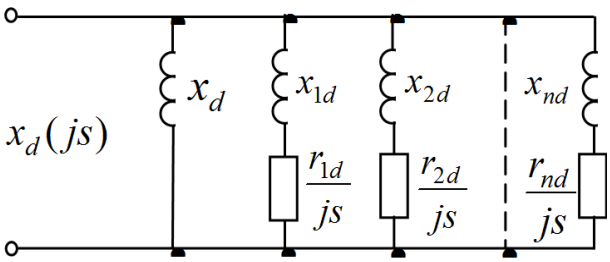


Рис. 3. Г-образная схема замещения по продольной оси

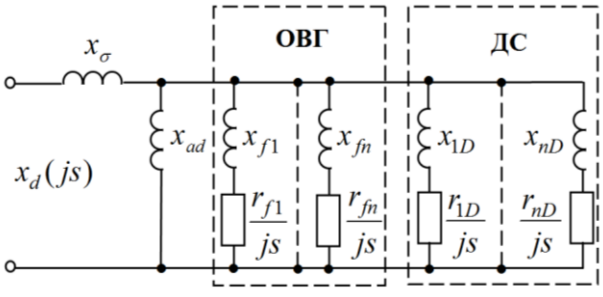


Рис. 4. Т-образная схема замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью

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

коротком замыкании, включении невозбужденного генератора в сеть при скольжении 3 % и при выпадении из синхронизма ТГ, потерявшего возбуждения, соответствующие значению индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора x_σ=0,175 о.е. и короткозамкнутому состоянию ОВГ, показал, что изменение параметров режима в обмотке статора при использовании схем замещения различных структур совпали между собой. Несовпадение находится в пределах отличия частотных характеристик $y_d(js)$ и $y_q(js)$.

Отличия наблюдаются в токах в цепи обмотки возбуждения.

На рис. 5 приведены результаты расчета изменения тока в ОВГ при внезапном трехфазном коротком замыкании на выводах генератора из режима холостого хода.

Из анализа рис. 5 следует, что изменение тока в роторе, рассчитываемое для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью, не превышают 1,3 %. Погрешность расчета при использовании Т-образной схемы, в которой ОВГ представлена одним контуром, составляет 4,9 %.

Использование Г-образной схемы замещения (кривая 4) дает неверные результаты как в качественном, так и в количественном отношении. Это связано с тем, что в такой схеме нет ветви, которая физически соответствует ОВГ. В качестве такой была принята цепочка с активным сопротивлением, близким к сопротивлению обмотки возбуждения.

Изменения тока в обмотке возбуждения, рассчитанные для асинхронного режима, протекающего при малых изменениях скольжения ротора относительно магнитного поля статора, отличаются в пределах 5 % для схем различных структур, включая и Г-образную без выделения ОВГ. Это может быть объяснено тем, что при малых частотах тока в роторе основное влияние оказывает в основном активное сопротивление контура. Период проворота ротора относительно поля статора при короткозамкнутой обмотке возбуждения составил 26,2 с.

Соотношения токов при включении невозбужденного генератора в сеть методом самосинхронизации аналогичны соотношениям, полученным при моделировании короткого замыкания. Это связано с тем, что физические процессы при внезапном коротком замыкании и включении невозбужденного генератора в сеть имеют одну и ту же природу. Изменение скольжения при этом имеет идентичный характер для всех используемых схем замещения.

Моделирование по Т-образным схемам замещения, полученным при сопротивлении рассеяния x_σ=0,213 о.е., не привело к изменению погрешностей расчета параметров режима в обмотке статора. Не изменились также результаты

Табл. 1. Значения параметров схем замещения ТГ типа ТГВ-200М (синтез без учета активного сопротивления ОВГ)

Тип схемы	Элемент ротора	Параметр	Значение параметра, о.е.				
Г-образная, рис. 4, x_d=1,916; x_q=1,747	ОВГ	x	0,50600	2,87200	–1,5700	–0,7540	2,09800
		r	0,00139	0,02050	–0,1220	–0,5768	2,33600
	Демпферная система (d)	x	3,01500	–4,4310	0,76100	0,77200	1,62000
		r	0,00831	–0,0298	0,07780	0,38700	3,25300
	Демпферная система (q)	x	0,96000	0,835	1,307	0,895	
		r	2,31100	0,1956	0,0513	0,00632	
Г-образная, рис. 3	ОВГ	x	Не имеет физического смысла				
		r					
	Демпферная система (d)	x	0,43100	9,75300	1,01200	1,67500	
		r	0,00119	0,09110	0,16000	2,02200	
Т-образная, рис. 4, x_σ=0,213	ОВГ	x	0,17000	–0,5160	0,14400	–0,2190	0,00013
		r	0,00120	–0,0722	0,04830	–0,1650	0,38470
	Демпферная система	x	–0,9230	0,50800	0,52200	0,08200	0,00000
		r	–0,0031	0,00196	0,05310	0,05360	0,08350
Т-образная, рис. 4, x_σ=0,175	ОВГ	x	0,22100	–0,1100	0,09200	–0,3080	
		r	0,00122	–0,0202	0,11940	–0,2090	
	Демпферная система (d)	x	0,61000	1,42700	0,38200	0,16000	0,0880
		r	2,04600	0,00560	0,05410	0,08790	0,3030
Т-образная, рис. 4, x_σ=0,175	ОВГ	x	0,22100				
		r	0,00108				
	Демпферная система (d)	x	1,19000	0,17700	0,09700		
		r	0,01157	0,04240	0,18160		

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

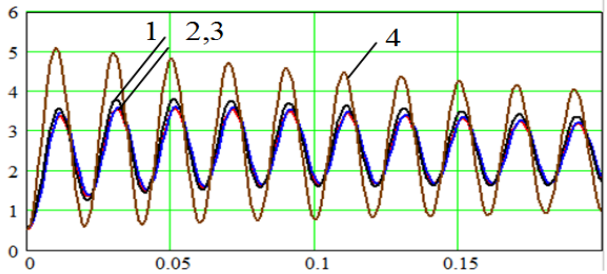


Рис. 5. Изменение тока в ОВГ при внезапном трехфазном коротком замыкании на выводах:
1 – расчет по Г-образной схеме замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью;
2 – расчет по Т-образной схеме замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью;
3 – расчет по Т-образной схеме замещения при представлении ОВГ одним контуром;
4 – расчет по Г-образной схеме замещения без выделения ОВГ

расчета тока в ОВГ при использовании схем замещения, в которых обмотка возбуждения учитывалась многоконтурной цепью. Использование схемы замещения Т-образного типа при представлении ОВГ одним контуром привело к увеличению погрешности в токе возбуждения до 12,8 %.

При оценке влияния на характер переходных процессов внешних сопротивлений моделирование осуществлялось путем увеличения индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора x_σ на величину индуктивных сопротивлений блочного трансформатора и системы ($x_{вн}$= =0,103 о.е.) и активного сопротивления трансформатора ($r_{вн}$=0,00364 о.е.).

Анализ результатов показал, что несовпадение в результатах расчета для схем замещения различных структур находится в тех же пределах, что и без учета внешних сопротивлений. Это связано с тем, что частотные характеристики входных проводимостей и комплексных коэффициентов распределения тока статора в ветви обмотки возбуждения не изменились. При этом значения токов в обмотках статора и ротора уменьшились во всех исследуемых режимах.

Влияние дополнительного активного сопротивления в цепи обмотки возбуждения в опытах самосинхронизации и асинхронном режиме анализировалось путем увеличения активного сопротивления ОВГ в шесть раз в схеме, в которой обмотка представлялась одним контуром. Это соответствует замыканию ОВГ на пятикратное дополнительное сопротивление. Для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью был предварительно выполнен ряд процедур.

Рассчитывалась частотная характеристика результирующей проводимости ветви ОВГ после включения дополнительного активного сопротивления $y_{fR_{ДОП}}(js)$ в соответствии с соотношением (4):

$$y_{fR_{ДОП}}(js)=\left(\frac{1}{y_f(js)}+\frac{R_{ДОП}}{js}\right)^{-1}. \qquad (8)$$

По найденной частотной характеристике $y_{fR_{ДОП}}(js)$ выполнялся синтез параметров многоконтурной обмотки возбуждения новых схем замещения. Параметры, отражающие влияние демпферной системы, остаются прежними.

Очевидно, что такой подход является неэффективным. Поэтому целесообразно синтезировать схемы замещения различных структур, в которых в последовательной цепи было бы выделено известное активное сопротивление обмотки возбуждения (рис. 6).

Параметры ветви, отображающей обмотку возбуждения в синтезированных схемах Г- и Т-образного вида ТГ типа ТГВ-200М, приведены в табл. 2.

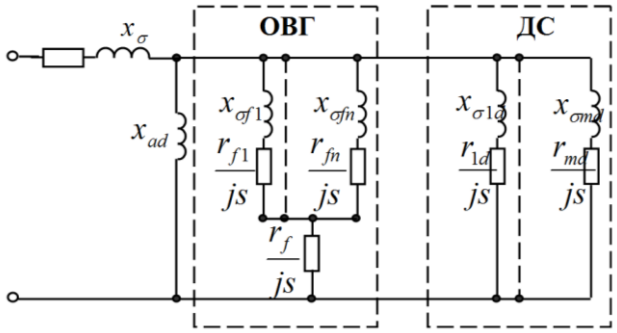


Рис. 6. Схема ТГ при представлении ОВГ многоконтурной цепью с выделенным активным сопротивлением ОВГ

Табл. 2. Значения параметров схем замещения ТГ типа ТГВ-200М, (синтез с учетом активного сопротивления ОВГ, r_f=0,00107)

Тип схемы		Параметр	Значение параметра, о.е.				
Г-образная, x_d=1,916	ОВГ	x	0,469000	7,25900	–1,6910	–0,7610	2,1300
		r	0,000147	0,04994	–0,1327	–0,5824	2,3788
Т-образная, x_σ=0,213; x_{ad}=1,703	ОВГ	x	0,17300	–0,0074	0,00720	–0,2160	0,00008
		r	0,00000	–0,0020	0,00199	–0,1600	0,38400

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

Параметры демпферной системы остались без изменения (см. табл. 1).

Результаты моделирования асинхронного режима и включения генератора в сеть методом самосинхронизации при замыкании ОВГ на пятикратное активное сопротивление показали, что использование многоконтурных схем обмотки возбуждения практически совпали как по току статора, так и по току в ОВГ. Использование Т-образной схемы замещения, в которой обмотка ротора представлена одним контуром, привело к увеличению погрешности до 11,3 % при расчете тока статора и до 18,7 % – тока возбуждения.

Выводы

Для задач, связанных с определением токов в обмотке статора, например, для выбора и проверки оборудования или для настройки устройств релейной защиты и автоматики ЭЭС модели необходимо строить таким образом, чтобы они соответствовали действительным частотным характеристикам проводимостей или сопротивлений со стороны обмотки статора.

Для уточненного расчета тока в обмотке возбуждения необходимо использовать эквивалентные схемы замещения, синтезированные на основе адекватности как частотных характеристик со стороны обмотки статора, так и комплексных коэффициентов распределения тока статора в ветви обмотки возбуждения.

Для повышения эффективности математической модели, учитывающей дополнительные активные сопротивления в цепи обмотки возбуждения, необходимо использовать эквивалентные схемы замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью с выделенным активным сопротивлением.

Список литературы

1. Казовский, Е.Я. Переходные процессы в синхронных машинах при анормальных режимах в энергосистеме / Е.Я. Казовский, Г.В. Рубисов. – СПб.: Наука, 1994. – 172 с.
2. Rogozin, G.G. Determining the electromagnetic parameters of AC machines // Revu general de l`electricite. – 1993. – No.9. – P. 8-16.
3. Larin, A. Experimental determination of turbogenerator electromagnetic parameters totality taking into account saturation by presenting the exciting winding by multilooped circuit / A. Larin, I. Larina // The advanced science journal. – Iss.3. – Vol.2010. – P. 143-148.
4. Ларин, А.М. Преобразование сложных эквивалентных схем замещения турбогенераторов к виду, удобному для моделирования переходных процессов / А.М. Ларин, Гуедиди Фаузи Бен Килани // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту. – 2007. – №11(117). – Ч.1. – С. 108-115.
5. Лютер, Р.А. Расчет синхронных машин. – Л.: Энергия, 1979. – 272 с.
6. Шапиро, А.С. Схема замещения турбогенератора при больших скольжениях с учетом клиньев и торцевого эффекта // Турбо- и гидрогенераторы большой мощности и перспективы их развития. – Л.: Наука, 1969. – С. 153-167.
7. Саратов, В.А. Схема замещения, параметры и потери в роторе турбогенератора при несимметричной нагрузке // Техническая электродинамика. – 2004. – №2. – С.35-39.
8. Саратов, В.А. Схема замещения и потери в массивном роторе турбогенератора от зубчатости статора при холостом ходе // Техническая электродинамика. – 2002. – №3. – С. 34-36.

A.M. Larin /Cand. Sci. (Eng.)/, I.I. Larina /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TURBOGENERATOR EQUIVALENT CIRCUIT STRUCTURE ON THE ACCURACY OF TRANSIENT PROCESSES SIMULATION

Background. *Currently, for refined modeling of steady-state modes with asymmetry in the stator winding circuit and asynchronous course of turbogenerators complex and detailed equivalent circuits widely used. They are not suitable for the study of instantaneous changes of parameters in time by differential equations. There are methods that allow for the conversion of high-order circuits to simpler, more convenient for the simulation of transient processes. To assess the accuracy of the calculations when using the simplified equivalent circuits of various structures is the relevant problem.*
Materials and/or methods. *To assess the impact of the structure of the equivalent circuit on the accuracy of mathematical modeling and development of recommendations on their application for solution of specific tasks performed a multivariate study of electro-magnetic and electromechanical transient processes under excitation influences leading to a different variation of the rotation speed of the*

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

generator rotor. The study analyzed the effect of additional resistance included in the circuit of the stator windings and excitation.

Results. *The performed research allowed establishing that in the synthesis of circuits convenient for modeling in order to improve the accuracy it is necessary to represent the excitation winding by a multicircuit taking into account its active resistance. Formulated the recommendations on the use of equivalent circuits of various structures for solution of the problems associated with the need to accurately determine the parameters of the dynamic regime in the stator winding and in the excitation winding.*

Conclusion. *For tasks related to the determination of the currents in the stator winding only, it is necessary to build models in such a way that they correspond to the actual frequency characteristics of the conductivities or resistances of the stator winding. For a refined calculation of the current in the excitation winding, it is necessary to use equivalent circuits synthesized on the basis of adequate frequency characteristics of the stator winding and complex coefficients of the stator current distribution in the excitation winding branches.*

Keywords: *turbogenerator, equivalent circuit, simulation, transient process, current distribution, excitation winding.*

Сведения об авторах

А.М. Ларин

SPIN-код:	2232-6194
Author ID:	856532
ORCID iD:	0000-0003-0832-0749
Телефон:	+380 (71) 320-15-24
Эл. почта:	lam@elf.donntu.org

И.И. Ларина

SPIN-код:	9924-8519
Author ID:	856531
ORCID iD:	0000-0003-4675-6690
Телефон:	+380 (71) 320-15-23
Эл. почта:	innacompany@yandex.ru

Статья поступила 31.05.2018 г.
© А.М. Ларин, И.И. Ларина, 2018
Рецензент д.т.н., проф. А.П. Ковалев



УДК 621.746.27

А.А. Иванова /к.т.н./
ГУ «Институт прикладной математики и механики» (Донецк)
В.А. Капитанов
НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха (Москва)
А.Б. Бирюков /д.т.н./, В.В. Худотёплый
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ВОДОВОЗДУШНЫМИ ФОРСУНКАМИ

В работе опробована методика определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении твердых поверхностей, имеющих высокую температуру, щелевыми водовоздушными форсунками при помощи экспериментального стенда на базе стационарного калориметра. Выполнены оценки погрешности определения коэффициентов теплоотдачи.

Ключевые слова: *коэффициент теплоотдачи, непрерывнолитая заготовка, водовоздушная форсунка, стационарный калориметр, оценка погрешности эксперимента.*

Постановка проблемы

Процессы, протекающие в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), играют важную роль в формировании качества непрерывнолитых слитков. В зависимости от среды, используемой для охлаждения поверхности заготовок, различают водяное и водовоздушное охлаждение [1].

При проектировании зоны вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок необходима информация о значениях коэффициента теплоотдачи на участках поверхности слитка, орошаемых водой или водовоздушной смесью. Коэффициент теплоотдачи (КТ) зависит от типа форсунки, подающей охлаждающую среду, а также от расходов воды или воды и воздуха.

Также эта информация необходима для задания граничных условий теплообмена на поверхности заготовки при математическом моделировании процессов формирования непрерывнолитого слитка [1…3].

Анализ последних исследований и публикаций

Задачи экспериментального определения значений коэффициентов конвективной теплоотдачи успешно решаются уже несколько десятилетий. Например, одним из типичных методов определения коэффициентов теплоотдачи форсунок является метод «подвижной форсунки» [4]. Стальная плита с 24 термоэлементами, с глубиной заделки 2,5 мм нагревается в печи инертным газом до 1200 °С. Верхняя поверхность пластины изолирована, нижняя подвержена действию струи испытываемой форсунки. Подвижный рычаг, на котором закреплена форсунка, перемещается параллельно пластине с помощью контролируемого компьютером электромотора. Для моделирования перемещения заготовки между роликами автоматически удаляется защитный кожух над пластиной. Форсунка перемещается слева направо с открытым кожухом, в обратную сторону – с закрытым. Температура пластины и охлаждающей воды измеряется до тех пор, пока температура пластины не достигнет температуры охлаждающей среды. Показания термоэлементов и положение форсунки относительно пластины записываются в базу данных, которая затем используется для восстановления граничных условий.

Подобные устройства для определения коэффициента теплоотдачи, которые для определённости будем называть нестационарными калориметрами (с целью отличать их от стационарных калориметров, о которых речь далее), безусловно, могли бы с успехом использоваться при низких значениях коэффициента теплоотдачи или при малых плотностях тепловых потоков. Однако при наблюдаемых в ЗВО плотностях тепловых потоков около одного мегаватта на квадратный метр градиенты температуры в охлаждающейся нагретой пластине столь велики, что корректное восстановление граничных условий становится проблематичным.

Так, исследователи фирмы Spraying Systems Co., работая на принадлежащем этой фирме нестационарном калориметре, получили значение критической температуры (очевидно, имеется в виду кризис кипения первого рода) для воды 270…400 °С, а точки Лейденфроста –

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

520…700 °С [5], что совершенно не соответствует общеизвестным данным [6].

Поэтому более перспективными для определения коэффициента теплоотдачи при значительных плотностях теплового потока представляются стационарные калориметры, в которых охлаждаемая в факеле форсунки поверхность пребывает при постоянной температуре благодаря постоянному подводу энергии извне – индуктивному или прямому резистивному нагреву.

Дополнительным достоинством стационарных калориметров являются их малые размеры и легкость перемещения, благодаря чему несложно определяются не только средние по факелу, но и локальные значения коэффициента теплоотдачи, что позволяет строить эпюры коэффициентов теплоотдачи. Их построение особенно важно, если ставится цель не просто охладить металл, но обеспечить должную равномерность его охлаждения, избежать локальных перегревов и переохлаждений. Ведущие металлургические корпорации располагают таким оборудованием [7,8].

Важной задачей для отечественной металлургии является создание и использование оборудования для экспериментального определения значений коэффициентов конвективной теплоотдачи при форсуночном охлаждении. Это даст возможность проверять характеристики иностранных форсунок и получить инструмент для производства эффективных отечественных форсунок.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является апробация методики определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении твердых поверхностей, имеющих высокую температуру, щелевыми водовоздушными форсунками и оценка погрешности результатов экспериментов.

Основной материал исследования

В принципе задача определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении твердой поверхности жидкостью или газожидкостной смесью может быть решена при помощи методики, описанной в [4]. В рамках этой методики можно использовать электрический калориметр, представляющий собой нагреватель с прикрепленной к нему термопарой [5,6].

Принцип действия калориметра основан на равенстве при стационарном тепловом режиме подводимой к нагревателю электрической мощности и отводимого теплового потока:

$$I^2 R = (\alpha + \alpha_0)(T_w - T_0)F\,, \qquad (1)$$

где I – сила тока, проходящего через нагреватель, А; R – сопротивление нагревателя, Ом; α – коэффициент теплоотдачи на охлаждаемой поверхности нагревателя, Вт/(м^2·К); α_0 – коэффициент теплоотдачи на неохлаждаемой поверхности нагревателя, Вт/(м^2·К); T_w и T_o – температуры поверхности и охлаждающей среды, °С; F – площадь нагревателя, м^2.

Схема установки для определения коэффициентов конвективной теплоотдачи представлена на рис. 1.

С использованием этой схемы была разработана установка для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи при охлаждении водовоздушными форсунками. Фото узла стационарного калориметра представлено на рис. 2а, а общий вид стенда для исследования работы форсунок представлен на рис. 2б.

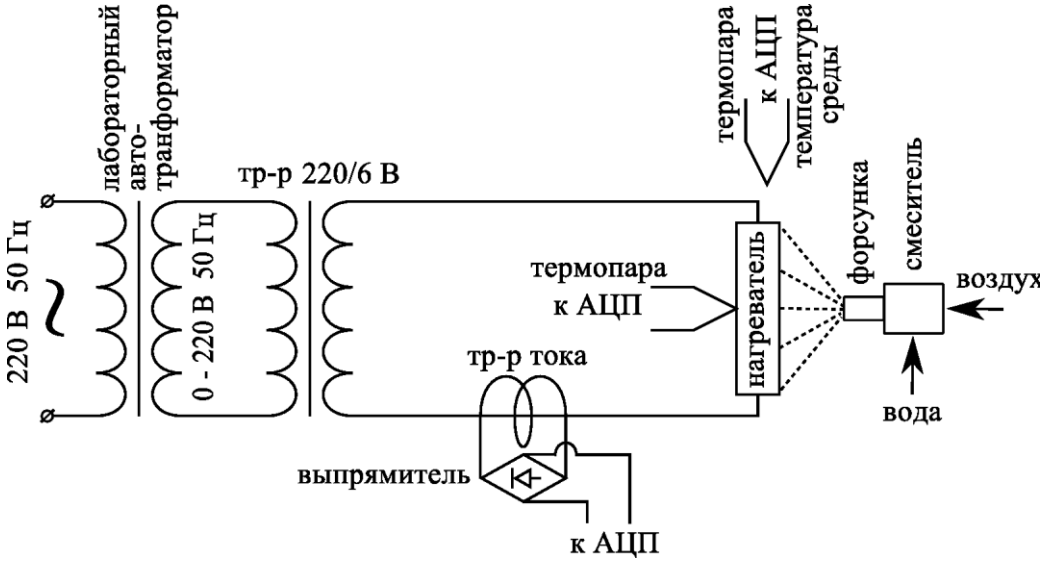


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента теплоотдачи

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



а



б

Рис. 2. Стенд для исследования работы форсунок:
а – узел стационарного калориметра; *б* – общий вид стенда

Форсунка соединена с ресивером сжатого воздуха и водяным насосом при помощи гибких шлангов и снабжена механизмом, позволяющим выполнять горизонтальное и вертикальное перемещения. Величины перемещения контролируются при помощи специальных координатников.

Это дает возможность исследовать значения коэффициентов конвективной теплоотдачи в разных точках факела.

Для отработки режима проведения эксперимента важно учитывать, что вид кривой, описывающей зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности при водовоздушном охлаждении, носит немонотонный характер (рис. 3) [9,10].

Такой характер зависимости объясняется качественными изменениями в режиме кипения, происходящими при изменении температуры. Вследствие немонотонности зависимости коэффициента теплоотдачи (и плотности теплового потока) от температуры не представляется возможным плавное повышение температуры нагревателя при увеличении подводимой мощности. Поэтому охлаждение нагревателя должно начаться в области температур справа от максимума. Для этого необходимо вывести форсунку на требуемый режим работы, установить нагреватель в исследуемой точке струи, затем отсечь струю от нагревателя, разогреть нагреватель до

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

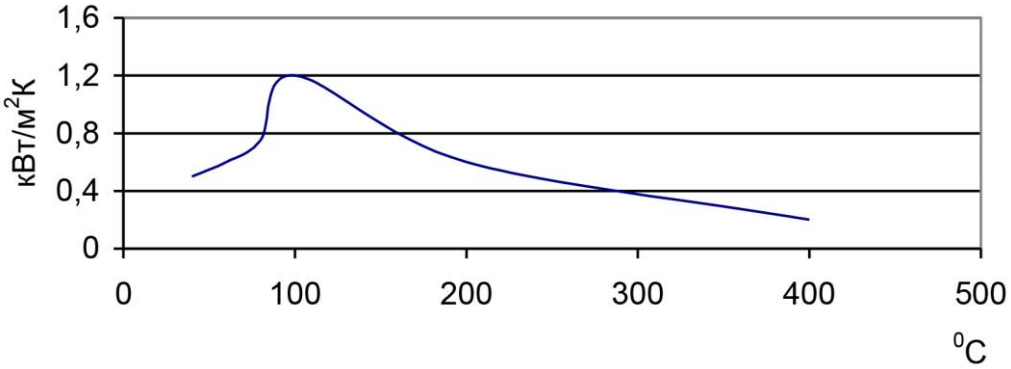


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности

температуры 600…700 °С и убрать отсекающую пластину, направив струю на нагреватель и одновременно увеличивая подаваемую мощность.

Таким образом можно обеспечить устойчивую работу нагревателя при струйном охлаждении в диапазоне температур 700…1200 °С.

При обработке экспериментальных данных коэффициент теплоотдачи вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{I^2 \rho_н}{a_н^2 b_н (T_w - T_0)} - \alpha_0 , \qquad (2)$$

где $\rho_н$ – удельное сопротивление материала нагревателя, Ом·м; $L_н$ – длина нагревателя, м; $a_н$ – ширина нагревателя, м; $b_н$ – высота нагревателя, м.

Погрешность косвенных измерений α определяется по формуле, полученной на базе общепринятых подходов по оценке погрешности косвенных измерений [11]:

$$\Delta\alpha = \left(\left(\frac{\partial\alpha}{\partial I}\right)^2 (\Delta I)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial T_w}\right)^2 + (\Delta T_w)^2 + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial T_0}\right)^2 + (\Delta T_0)^2\right)^{\frac{1}{2}} . \qquad (3)$$

После подстановки выражений производных, получаемых при дифференцировании выражения (2), и приведения подобных слагаемых, получаем окончательное выражение для оценки погрешности определения значений коэффициентов конвективной теплоотдачи:

$$\Delta\alpha = \frac{I\rho_н}{a_н^2 b_н (T_w - T_0)} \times$$
$$\times \left(4(\Delta I)^2 + \frac{I^2}{(T_w - T_0)^2 ((\Delta T_w)^2 + (\Delta T_0)^2)} \right)^{\frac{1}{2}} , \qquad (4)$$

где ΔI, ΔT_w, ΔT_0 – погрешности разброса, которые возникают вследствие различия экспериментальных значений при многократном повторении измерений одной и той же величины.

Погрешности разброса могут быть установлены как в результате определения доверительных интервалов за счет статистической обработки нескольких значений соответствующих величин, попавших в случайные выборки, так и в зависимости от классов точности приборов.

Абсолютная погрешность измерения физической величины оценивается через класс точности следующим образом [11]:

$$\chi_{к.т.} = \left(\frac{\gamma}{100}\right) A ,$$

где γ – класс точности, %, указанный на панели прибора; $A=A_{\max}$ – предел измерения для стрелочных приборов, либо A – текущее значение для магазинов сопротивления, индуктивности, емкости.

Созданный стенд для экспериментального изучения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении твердых поверхностей щелевыми водовоздушными форсунками имеет следующие значения характеристик, необходимых как для определения самих коэффициентов теплоотдачи (2), так и оценки погрешности их определения (4).

Поперечные размеры нагревателя: $a_н$=0,0039 м, $b_н$=0,0009 м.

Удельное сопротивление материала нагревателя $\rho_н$ (при 1000 °С) – $9{,}30 \cdot 10^{-7}$ Ом·м.

Ток измеряется электрическими клещами с пределом измерения 600 А и классом точности 0,5.

Температуры нагревателя и окружающей среды измеряются при помощи хромель-алюмелевой термопары (ТХА). Погрешности измерения выбираются в зависимости от диапазона измерения (табл. 1).

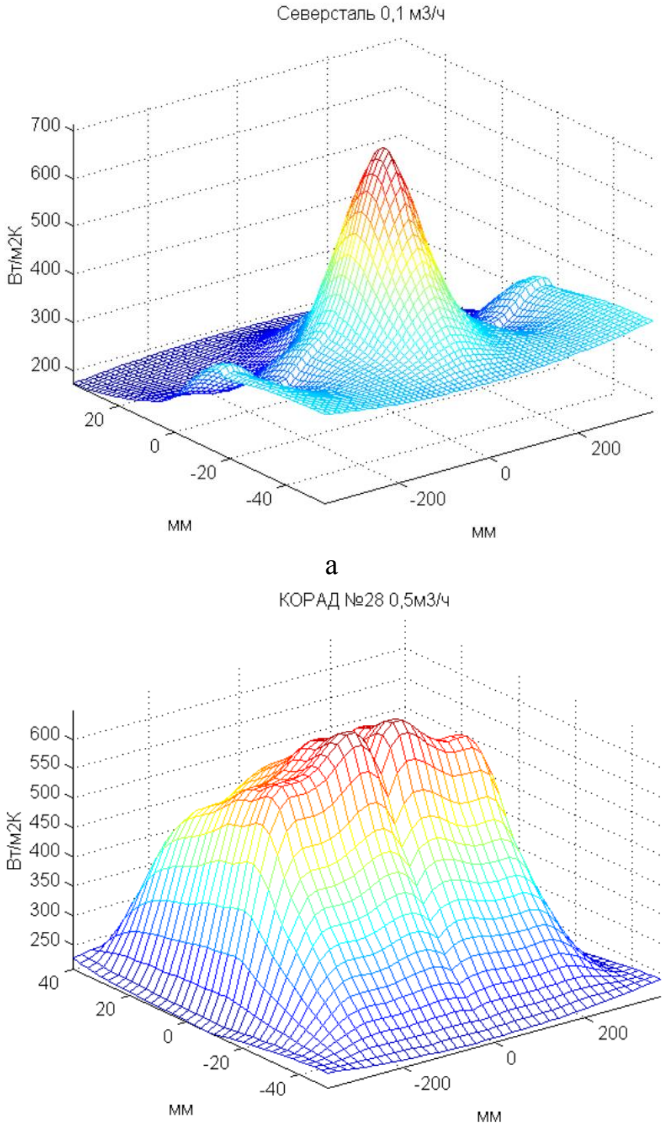
ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 1. Погрешности измерения температуры при помощи хромель-алюмелевой термопары в разных температурных диапазонах

Обозначение промышленного термопреобразователя	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений		Пределы доп. отклонений ТЭДС от НСХ
			от	до	
Термопара ТХА	К	3	–250	–167	0,015·t
			–167	–40	2,5
		2	–40	333	2,5
			333	1300	0,0075·t
		1	–40	375	1,5
			375	1000	0,004·t

Пример результатов по установлению распределения коэффициентов теплоотдачи по факелу водовоздушной форсунки для разных типов форсунок и расходов охладителя представлен на рис. 4.

Результаты оценки погрешностей определения коэффициентов теплоотдачи вдоль малой и большой диагоналей эллиптического факела форсунки «Корад» при расходе воды 0,5 м^3/ч, воздуха – 3,59 нм^3/ч приведены на рис. 5.



а

б

Рис. 4. Распределение коэффициента теплоотдачи:
а – для форсунки «Северсталь» и расхода воды 0,1 м^3/ч, воздуха – 31,53 нм^3/ч;
б – для форсунки фирмы «Корад» при расходе воды 0,5 м^3/ч, воздуха – 3,59 нм^3/ч

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

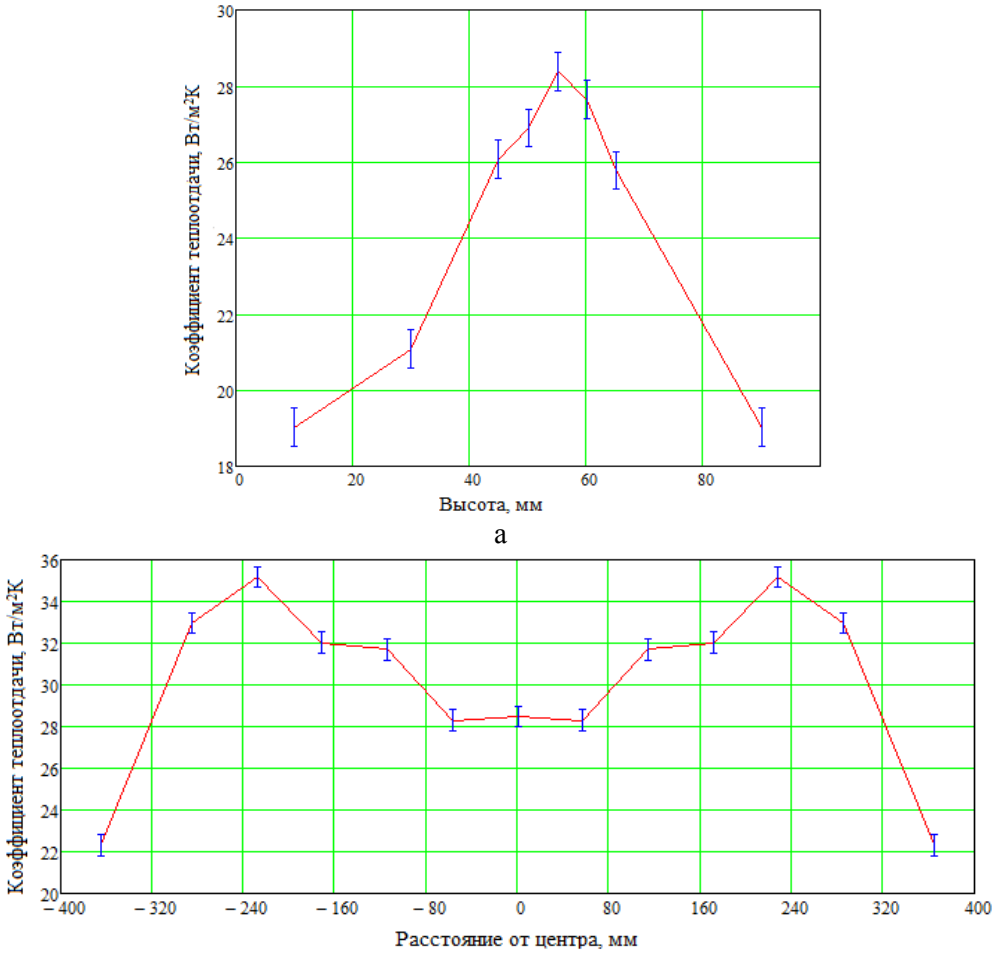


Рис. 5. Распределение коэффициента теплоотдачи и оценка погрешности измерения: *а* – по высоте факела на вертикальной оси; *б* – по ширине факела на горизонтальной оси

Выводы

В работе апробирована методика определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении твердых поверхностей щелевыми водовоздушными форсунками на базе экспериментального стенда со стационарным калориметром и выполнена оценка погрешности результатов экспериментов, основываясь на классах точности используемых измерительных приборов. Для созданного стенда погрешность определения значений коэффициентов теплоотдачи составляет 5…10 %.

Список литературы

1. Smirnov, A.N. Nepreryvnaya razlivka stali [Continuous casting of steel] / A.N. Smirnov, S.V. Kuberskij, E.V. Shtepan. – Donetsk: DonNTU Pupl., 2011. – 482 p.
2. Бирюков, А.Б. Современные подходы к эффективному управлению теплотехническими процессами в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ /А.Б. Бирюков, А.А. Иванова // Бюллетень «Черная металлургия». – 2015. – №3. – С. 46-51.
3. Biryukov, A.B. Method of determining an efficient rate for the secondary cooling of a continuous-cast slab / A.B. Biryukov, A.A. Ivanova // Metallurgist. – 2015. – Vol.58. Iss.11-12. – P. 967-972.
4. Bending, L. Heat Transer of Twin Fluid Nozzles for Continuous Casting at different Test Conditions / L. Bending, M. Raudensky, J. Horsky // 13th International Conference of Liquid Atomization and Spray Systems, July 9-11, 1997, Florence. – Florence: ILASS, 1998. – P. 230-244.
5. Hamed M. Al-Ahamdi, Yao, S.C. Experimental Study on the Spray Cooling of High Temperature Metal using Full Cone Industrial Sprays // 85th Steelmaking Conference, Iron and Steel Society, Nashville, TN, March 2002, Pennsylvania. – Pittsburg: Spray Analysis and Research Services, 2002. – P. 8.
6. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
7. Айзин, Ю.М. Новый стенд для исследования характеристик факела щелевых форсунок слябовых МНЛЗ / Ю.М. Айзин и др. // Сталь. – 2003. – №12. – С.25-26.
8. Геращенко, О.А. Основы теплометрии. – Ки-

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

ев: Наукова думка, 1971. – 191 с.
9. Исаченко, Н.С. Струйное охлаждение / Н.С. Исаченко, Г.В. Кушнырев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
10. Мастрюков Б.С. Теплофизика металлургических процессов / Б.С. Мастрюков, Г.С. Сборщиков. – М.: Металлургия, 1996. – 268 с.
11. Кравченко, Н.С. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме / Н.С. Кравченко, О.Г. Ревинская // Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 86 с.

A.A. Ivanova /Cand. Sci. (Eng.)/
Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk)
V.A. Kapitanov
Research Institute «Polus» named after M.F. Stelmakh (Moscow)
A.B. Biryukov /Dr. Sci. (Eng.)/, V.V. Khudoteply
Donetsk National Technical University (Donetsk)

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENTS WHEN COOLING OF CONCAST BILLETS WITH THE WATER-AIR NOZZLES

Background. *To design machines for continuous casting of billets and set the boundary conditions of heat exchange in the modeling of processes of formation of the concast billets, it is necessary to have real coefficient values of heat transfer on the billet surface, cooled by torches of water or water-air nozzles. An important task is to create and test in domestic conditions the methods for determining the heat transfer coefficients when cooling solid surfaces with water-air nozzles.*
Materials and/or methods. *The experimental stand based on a stationary electric calorimeter, which is a heater with a thermocouple attached to it. The investigated nozzle is connected with a receiver of compressed air and the water pump by means of a flexible hose and has a mechanism that allows for horizontal and vertical movement. This makes it possible to study the values of the convective heat transfer coefficients at different points of the torch. The error of indirect determination of heat transfer coefficients determined by the equation obtained on the basis of generally accepted approaches to the estimation of the error of indirect measurements, depending on the accuracy of sensing elements and devices used in the creation of the stand.*
Results. *As a result of the experiments, the distribution of heat transfer coefficients on the torches of various water-air nozzles for different air and water flows obtained. According to the estimates, the error in determining the desired values used in the creation of the stand of measuring devices (chromel-alumel thermocouples for measuring the temperature on the heater surface and the surrounding medium and the current clamp of 0.5 accuracy class) is 5…10 %.*
Conclusion. *The tested method for determining the heat transfer coefficients for cooling solid surfaces with water-air nozzles provides opportunities for research and creation of domestic effective nozzles for cooling concast billets.*

Keywords: *heat transfer coefficient, concast billet, water-air nozzle, stationary calorimeter, estimation of error of the experiment.*

Сведения об авторах

А.А. Иванова
SPIN-код: 6560-2868
Author ID: 54935647300
ORCID iD: 0000-0003-0573-8859
Телефон: +380 (62) 311-04-36
Эл. почта: ivanova.iamm@mail.ru

А.Б. Бирюков
SPIN-код: 3186-0680
Author ID: 7006918782
ORCID iD: 0000-0002-8146-2017
Телефон: +380 (50) 260-97-75
Эл. почта: birukov.ttf@gmail.com

В.А. Капитанов
Телефон: +7 (495) 333-91-44
Эл. почта: kapitanov_v_a@mail.ru

В.В. Худотёплый
Телефон: +380 (71) 308-78-17
Эл. почта: voita0116@gmail.com

Статья поступила 08.05.2018 г.
© А.А. Иванова, В.А. Капитанов, А.Б. Бирюков, В.В. Худотёплый, 2018
Рецензент д.т.н., доц. Н.И. Захаров

УДК 665.753.4

Е.Н. Лозинский
ГПОУ «Донецкий политехнический колледж» (Донецк)
Н.С. Лозинский /к.т.н./
ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (Донецк)

ОБ УЛУЧШЕНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВОМ ТС-1, БЕНЗИНОМ ИЛИ КОММЕРЧЕСКИМИ ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩИМИ ПРИСАДКАМИ

Подтвержден факт получения стандартного топлива дизельного зимней марки при добавлении не менее 30 % объема топлива ТС-1 к ДТ Л-0,20-62. Введение бензина в такое топливо всегда приводит к образованию опасного к применению горючего. Для эффективного изменения марки топлива предложено использовать конкретные коммерческие депрессорно-диспергирующие присадки.

***Ключевые слова**: топливо дизельное, топливо ТС-1, бензин, депрессорно-диспергирующие присадки.*

Постановка проблемы

Для улучшения низкотемпературных свойств топлива дизельного (ДТ) при его производстве применяются 6 способов (в скобках указаны их недостатки) [1…3]:

– снижение конца кипения дизельной фракции (снижается выход дизельного топлива);

– смешивание дизельного топлива с керосиновой фракцией (требуется гидроочистка керосина);

– удаление н-парафинов методом экстрактивной кристаллизации (периодичность процесса и затоваривание парафином низкого качества);

– добавление депрессорно-диспергирующих присадок;

– каталитическая изомеризация (высокая стоимость катализаторов, содержащих металлы платиновой группы);

– каталитическая депарафинизация, при использовании которой снижается необходимость в дорогих металлах.

Очевидно, что весьма популярными и доступными из перечисленных в среде автолюбителей являются второй и четвертый способы. Особенно в регионах с переменчивыми зимами, характеризующимися экстремально резким изменением температурного режима окружающей среды.

Анализ последних исследований и публикаций

Обнаружена одна исследовательская публикация, посвященная возможности использования летнего топлива дизельного с добавками других топлив (керосина осветительного (КО) и бензина АИ-80) в условиях низких температур [4].

Авторы исследовали характер влияния КО и бензина АИ-80 на плотность, фракционный состав, кинематическую вязкость, температуры: вспышки в закрытом тигле (ТВЗТ), помутнения и застывания дизельного летнего экологически чистого топлива (ДЛЭЧ) по ТУ 38.1011348-2003; а также провели квалификационные испытания смесевых образцов на качество распыления и расход при работе двигателя на разных режи мах.

Исследования показали, что фракционные составы смесей с добавками от 5 до 30 % об. КО и от 5 до 10 % об. бензина «Нормаль-80» приближают характеристики ДЛЭЧ к характеристикам зимнего дизельного топлива.

Поэтому авторы полагают возможным использовать летнее дизельное топливо в зимних условиях при добавке керосина осветительного в объеме 20…30 %, но при необходимости и в зависимости от температуры окружающей среды. Более того, при отсутствии керосина им представляется возможной добавка к летнему дизельному топливу бензина в количестве от 5 до 10 % по отношению к объему дизельного топлива.

Однако, несмотря на результаты углубленного исследования, к авторам упомянутой статьи возникает несколько вопросов. Во-первых, чем обусловлен выбор для улучшения низкотемпературных свойств смеси именно осветительного керосина? В настоящее время это очень дефи-

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

цитный нефтепродукт. Во-вторых, можно ли заменить КО более распространенным «керосином» – топливом ТС-1? Наконец, непонятно, соблюдаются ли установленные закономерности применительно к ДТ других производителей.

Литература о влиянии депрессорно-диспергирующих присадок (ДДП) на свойства ДТ намного обширнее и разнообразнее [1,2,5…9]. Главный вывод, которые делают авторы, – присадки необходимо подбирать индивидуально к каждому конкретному дизельному топливу.

Иного мнения придерживаются авторы работы [10], доказывая на выборке из шестнадцати различных коммерческих ДДП, что углеводородный состав ДТ практически не влияет на эффективность этих добавок, которая, в свою очередь, предопределяется составом (производителем) самой добавки и ее содержанием в топливе.

При этом по характеру действия ДДП подразделяются на три группы. Первая группа – это присадки, которые значительно уменьшают предельную температуру фильтруемости (ПТФ), от 3-х до 11-ти градусов, при введении небольшого их количества (500 ppm). Вторая группа – это присадки, которые практически не влияют на значения ПТФ при малой концентрации (500 ppm), но уменьшают их при увеличении содержания (до 5000 ppm). Третья группа – это присадки, которые не влияют на ПТФ ДТ даже при большом их содержании. Однако сведений о марках и производителях как ДТ, так и ДДП авторы не сообщают, что снижает практическую ценность работы.

Таким образом, сведения об эффективности коммерческих ДДП крайне скудны и мало применимы для рядового автолюбителя, которому в такой ситуации приходится черпать прикладную информацию из тестов экспертов журнала «За рулем» или интернет-сайтов [11].

Цель (задачи) исследования

Целью данного исследования является установление характера влияния добавки топлива ТС-1 (ТС), бензина автомобильного (БА) или коммерческих депрессорно-диспергирующих присадок на самые критичные потребительские параметры ДТ двух разных производителей для улучшения низкотемпературных свойств топлива дизельного летней марки и прогноз на их применимость в этом качестве.

Основной материал исследования

Объекты исследования: топливо дизельное марки ДТ Л-0,20-62: ДТ1 и ДТ2 (производитель АО «Укртатнафта»), а также ДТ3 (производитель ООО «Линос») по ДСТУ 3868-99, топливо ТС-1 (производитель АО «Укртатнафта») по ГОСТ 10227-86, бензины марок А-92 (производитель ООО «Линос») и А-95 (производитель АО «Укртатнафта») по ДСТУ 4063-2001, а также смеси ДТ с ТС-1, бензинами и коммерческими ДДП. Коммерческие присадки: Hi-Gear и ABRO ANTI-Gel (США), Wynn's for diesel (Бельгия) и К2 TURBO DFA-39 (Польша) приобретены в розничной сети.

Качество продуктов подтверждено сертификатами соответствия.

Присадки в топливо вводили при комнатной температуре в указанных в рецептуре количествах.

Методы исследования для определения: плотности при температуре 20 °С – ρ_4^{20} (средства измерительной техники (СИТ) – ареометры АНТ-1 и термометр ТТЖ-М) по ГОСТ 3900-85; фракционного состава (испытательное оборудование (ИО) – аппарат для разгонки нефтепродуктов АРНП-2) по ГОСТ 2177-99 (регистрировали температуру начала кипения ($t_{НК}$), конца кипения (t_{96}), значения показания температуры при 5- и 95 %-ном отгонах и при кратном 10 %-ном отгоне от 10 % до 90 % включительно.); температуры вспышки в закрытом тигле (ИО – аппарат ТВЗ для определения температуры вспышки в закрытом тигле и анализатор температуры вспышки закрытого типа серии 3 SETAFLASH 30000-0, СИТ – термометры ТН-6 и ТН-7) по ГОСТ 6356-75 и ASTM D 3928-98, предельной температуры фильтруемости (ИО – установка УТФ-70, СИТ – термометр ТН-8) по ГОСТ 22254-92.

Все средства измерительной техники поверены, а испытательное оборудование аттестовано.

При введении ТС-1 в ДТ плотность последнего снижается (табл. 1…4).

Табл. 1. Состав и некоторые физико-химические свойства ДТ1, ДТ2, ДТ3 и ТС-1

№	Образец	ρ_4^{20}, г/см^3	$t_{НК}$, °С	t_{50}, °С	t_{96}, °С	ТВЗТ, °С	ПТФ, °С
1	ДТ1	0,8340	179,0	264,0	365,0	62	–4
2	ДТ2	0,8354	181,0	275,0	365,0	74	–2
3	ДТ3	0,8353	180,0	269,0	332,0	76	–10
4	ТС-1	0,7836	135,0	182,0	212,0	31	–55

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

Табл. 2. Свойства образцов на основе ДТ1 с различным содержанием ТС-1

№	Содержание ТС-1, % об.	ρ_4^{20}, г/см^3	$t_{НК}$, ºС	t_{50}, ºС	t_{96}, ºС	ТВЗТ, ºС
1	10	0,8300	175,0	250,0	359,0	60
2	20	0,8200	170,0	242,0	356,0	50
3	30	0,8150	163,0	234,0	349,0	48
4	50	0,8005	159,0	212,0	342,0	43

Табл. 3. Свойства образцов на основе ДТ2 с различным содержанием ТС-1

№	Содержание ТС-1, % об.	ρ_4^{20}, г/см^3	$t_{НК}$, ºС	t_{50}, ºС	t_{96}, ºС	ТВЗТ, ºС	ПТФ, ºС
1	5	0,8334	–	–	–	69	–2
2	10	0,8304	175,0	–	–	64	–2
3	15	0,8284	–	–	–	57	–2
4	20	0,8254	174,0	243,0	364,0	57	–3
5	30	0,8204	163,0	–	–	53	–4
6	40	0,8154	–	–	–	49	–6
7	50	0,8105	159,0	214,0	363,0	41	–8

Табл. 4. Свойства образцов на основе ДТ3 с различным содержанием ТС-1

№	Содержание ТС-1, % об.	ρ_4^{20}, г/см^3	$t_{НК}$, ºС	t_{50}, ºС	t_{96}, ºС	ТВЗТ, ºС	ПТФ, ºС
1	30	0,8164	165,0	236,0	342,0	50	–15
2	50	0,8064	175,0	214,0	336,0	45	–18

Характер зависимости по критерию R^2, скорее всего, подчиняется нелинейному закону (рис. 1). Для ДТ1 y= –0,0007x+0,8350, R^2=0,9908, y=9E–07x^2–0,0006x+0,8347, R^2=0,9912; для ДТ2 y=–0,0005x+0,8356, R^2=0,9994, y=2E–09x^2–0,0005x+ +0,8356, R^2=0,9994; для ДТ3 y= –0,0006x+0,8349, R^2=0,9963, y=3E–06x^2–0,0007x+0,8353, R^2=1.

При этом плотность образцов при 20 ºС отвечает требованиям ДСТУ 3868-99 (не более 0,8400 г/см^3), т.е. по этому параметру горючее остается стандартным.

На рис. 2 приведены кривые Энглера объектов исследования до смешения по данным фракционного состава.

Приведенные результаты показывают, что, во-первых, топливо ТС-1 отличается по фракционному составу от керосина осветительного, что оправдывает сделанный выбор в его пользу, а, во-вторых, последние фракции бензинов, с одной стороны, и ТС-1 и КО, с другой – выкипают в одном и том же температурном интервале.

Кривые Энглера образцов, полученных смешением исходных объектов исследования, показаны на рис. 3…5.

Из рисунков следует, что с увеличением содержания ТС-1 фракционный состав смесевых образцов приближается к фракционному составу добавляемого в ДТ компонента.

Сведения о других свойствах исследованных образцов сведены в табл. 1…4 и проиллюстрированы на рис. 6…8.

Из результатов исследования следует, что с увеличением содержания ТС-1 ТВЗТ смесевых образцов приближается к ТВЗТ добавляемого в образцы топлива.

Характер изменения ТВЗТ описывается уравнениями второго порядка (см. рис. 6):
для ДТ1 y=0,005x^2–0,6579x+63,156 (R^2=0,9471);
для ДТ2 y=0,0084x^2–1,0149x+73,02 (R^2=0,9499);
для ДТ3 y=0,0123x^2–1,2367x+76 (R^2=1).

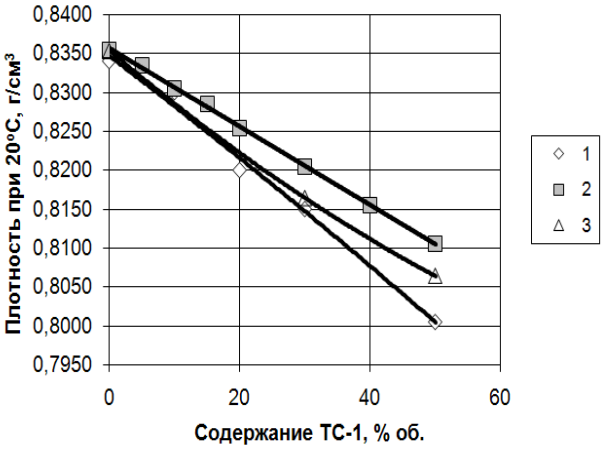


Рис. 1. Зависимость плотности от содержания ТС-1 для образцов на основе:
1 – ДТ1; *2* – ДТ2; *3* – ДТ3

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

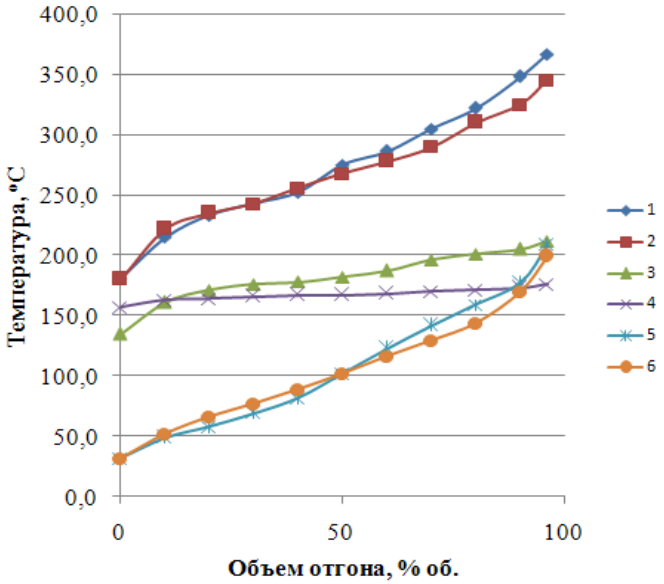


Рис. 2. Кривые Энглера объектов исследования:
1 – ДТ2; *2* – ДТ3; *3* – ТС-1; *4* – КО; *5* – А-92; *6* – А-95

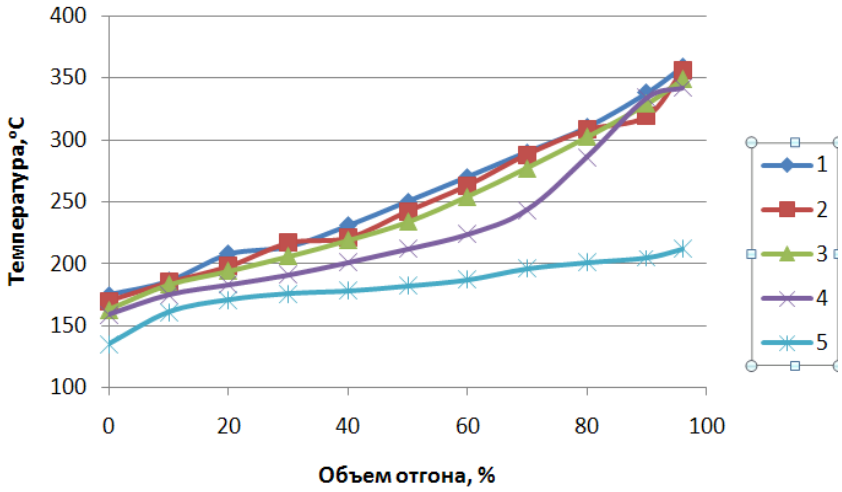


Рис. 3. Кривые Энглера образцов на основе ДТ1 с разным содержанием ТС-1, % об.:
1 – 10; *2* – 20; *3* – 30; *4* – 50; *5* – 100

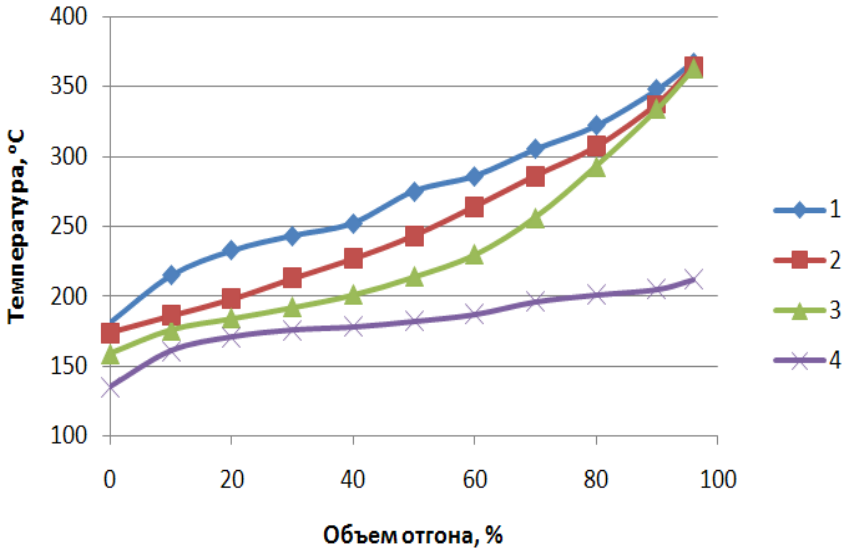


Рис. 4. Кривые Энглера образцов на основе ДТ2 с разным содержанием ТС-1, % об.:
1 – 0; *2* – 20; *3* – 50; *4* – 100

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

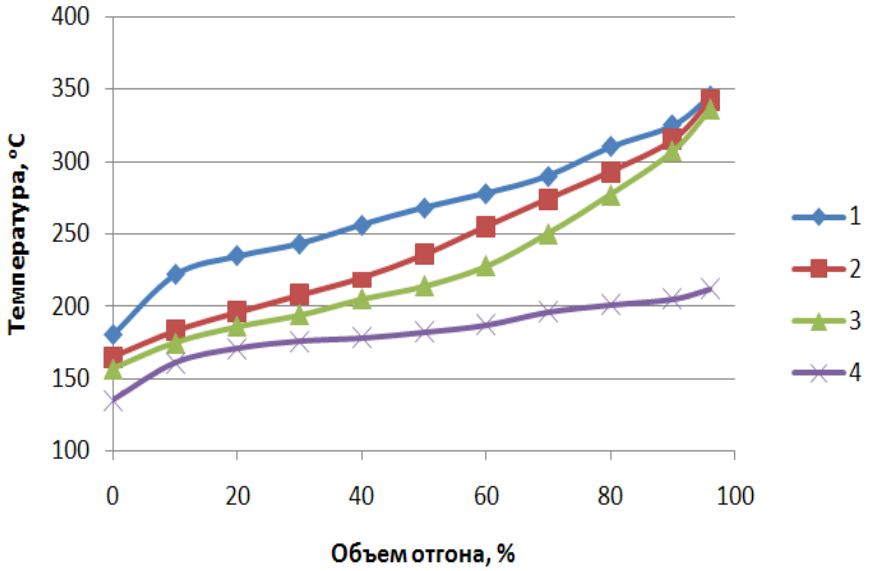


Рис. 5. Кривые Энглера образцов на основе ДТ3 с разным содержанием ТС-1, % об.:
1 – 0; *2* – 30; *3* – 50; *4* – 100

Положительно то, что ТВЗТ всех смесевых образцов отвечает требованиям ДСТУ 3868-99 (не ниже 40 ºС), т.е. по этому параметру горючее остается стандартным.

Анализ корреляции между ТВЗТ и $t_{НК}$ образцов по данным фракционного состава (ФС) показывает, что характер зависимостей предопределяется свойствами ДТ (производителем), поскольку для образцов на основе ДТ2 он описывается линейной зависимостью, тогда как для образцов ДТ3 – нелинейной (рис. 7).

Введение ТС-1 в образцы снижает их ПТФ по закону второго порядка (рис. 8).

При этом на топливе ДТ3 достигается уровень требования стандарта по данному параметру (не выше – 15 ºС), а на топливе ДТ2 – нет.

Вместе с тем для достижения этого эффекта необходимо вводить в ДТ3 не менее 30 % об. ТС-1.

В табл. 5 представлены результаты контроля параметров $t_{НК}$ и ТВЗТ смесей ДТ с бензином.

Из приведенных результатов следует, что ТВЗТ всех смесевых образцов не отвечает требованиям ДСТУ 3868-99 (не ниже 40 ºС), т.е. применять такое горючее запрещается.

Введение в ДТ1 и ДТ2 ДДП не отражается на плотности, фракционном составе и ТВЗТ исходных ДТ, но изменение ПТФ наблюдается.

Результаты испытаний приведены в табл. 6.

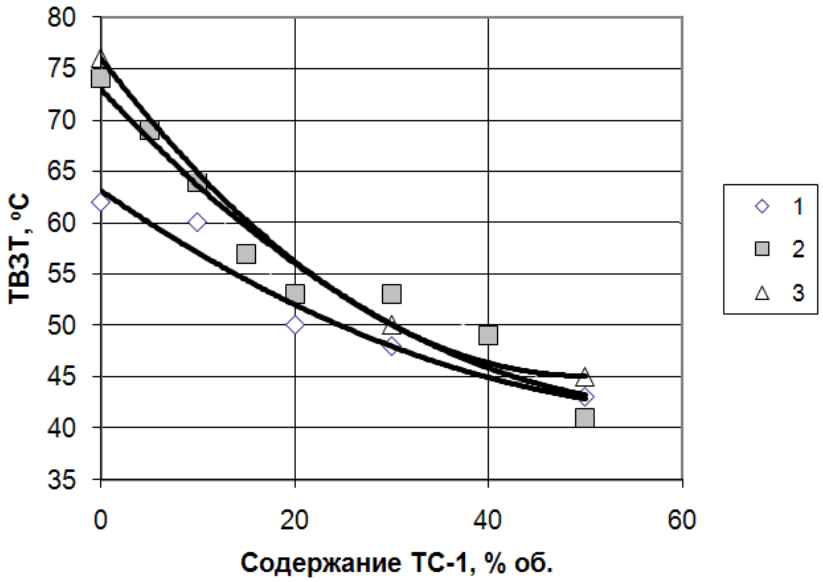


Рис. 6. Зависимость ТВЗТ от содержания ТС-1 для образцов на основе:
1 – ДТ1; *2* – ДТ2; *3* – ДТ3

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

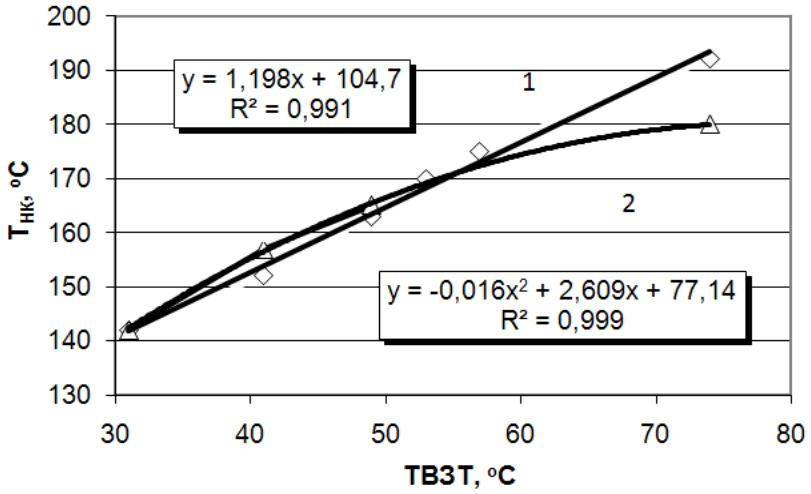


Рис. 7. Взаимосвязь между ТВЗТ и ТНК для образцов на основе: *1* – ДТ2; *2* – ДТ3

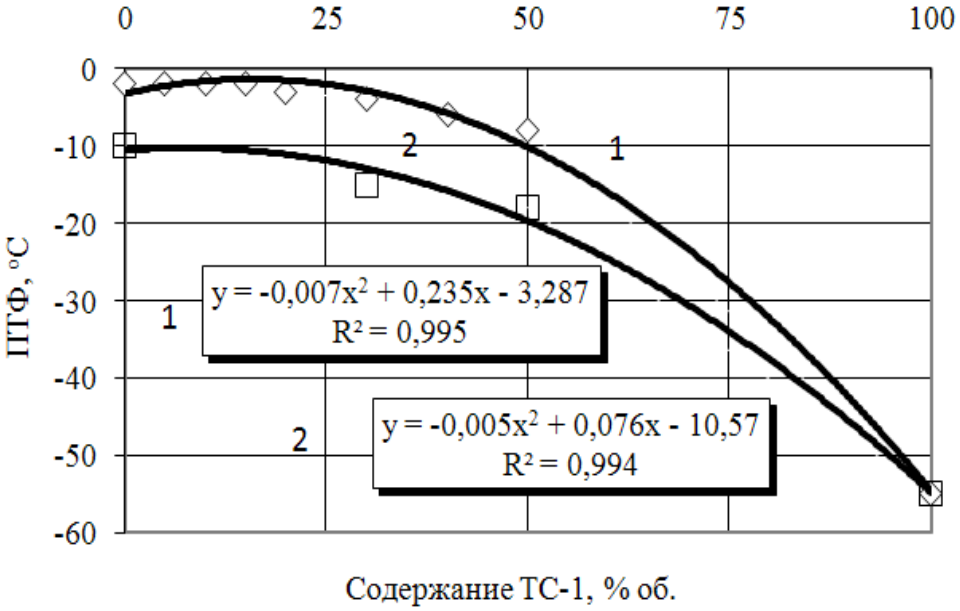


Рис. 8. Зависимость ПТФ от содержания ТС-1 для образцов на основе: *1* – ДТ2; *2* – ДТ3

Табл. 5. Температура начала кипения и ТВЗТ образцов на основе топлива ДТ2, ДТ3 и бензина

№	Образец	$t_{НК}$, °С	ТВЗТ, °С
1	90 % об. ДТ2 + 10 % об. А-95	169,0	34
2	80 % об. ДТ2 + 20 % об. А-95	125,0	23
3	70 % об. ДТ2 + 30 % об. А-95	105,0	18
4	60 % об. ДТ2 + 40 % об. А-95	87,0	10
5	50 % об. ДТ2 + 50 % об. А-95	68,0	6
6	40 % об. ДТ2 + 60 % об. А-95	61,0	4
7	30 % об. ДТ2 + 70 % об. А-95	56,0	2
8	20 % об. ДТ2 + 80 % об. А-95	51,0	0
9	15 % об. ДТ2 + 85 % об. А-95	49,0	–2
10	10 % об. ДТ2 + 90 % об. А-95	47,0	–4
11	95 % об. ДТ3 + 5 % об. А-92	104,0	23
12	90 % об. ДТ3 + 10 % об. А-92	78,0	18
13	85 % об. ДТ3 + 15 % об. А-92	76,0	7
14	70 % об. ДТ3 + 30 % об. А-92	58,0	4
15	50 % об. ДТ3 + 50 % об. А-92	42,0	–5

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

Табл. 6. Предельная температура фильтруемости образцов ДТ1 и ДТ2 с добавкой коммерческих депрессорно-диспергирующих присадок

ДТ	ПТФ образцов ДТ без и с соответствующими присадками, °С				
	без ДП	К2 TURBO DFA-39	Hi-Gear	ABRO ANTI-Gel	Wynn's for diesel
ДТ1	–4	–5	–26	–12	–8
ДТ3	–10	–16	–22	–22	–15

Из приведенных результатов следует, что эффективность ДДП предопределяется не только составом (производителем) ДДП, но и составом (производителем) ДТ, в отличие от мнения авторов работы [10]. Например, на ПТФ ДТ1 присадки К2 TURBO DFA-39, Wynn's for diesel и ABRO ANTI-Gel оказывают слабое действие, тогда как их введение в образцы другого производителя позволяет снизить ПТФ до значений, отвечающих требованиям существующих нормативных документов на ДТ.

Выводы

Таким образом, основываясь на позиции соблюдения стандарта на топливо дизельное по ДСТУ 3868-99, можно утверждать, что улучшение низкотемпературных свойств ДТ при добавлении топлива ТС-1 достижимо. Однако подготовка ДТ к зимнему периоду таким способом нерациональна, поскольку в зависимости от производителя горючего летней марки необходимо добавлять не менее 30 % об. топлива ТС-1 (этот вывод не противоречит опубликованному в литературе [4]), которое дефицитнее и дороже топлива дизельного марки ДТ Л-0,20-62.

Применение бензина для улучшения низкотемпературных свойств топлива дизельного, в отличие от авторов работы [4], нами вообще не приветствуется и отрицается, так как введение бензина в ДТ всегда приводит к образованию смеси, не соответствующей требованиям ДСТУ 3868-99.

Предлагается для улучшения низкотемпературных свойств топлива дизельного марки ДТ Л-0,20-62 использовать ДДП с соблюдением рецептуры и рекомендаций по применению от производителя [11].

Например, хорошие результаты демонстрирует ДДП Hi-Gear, которую можно рекомендовать автолюбителям для получения ДТ марки З из ДТ марки Л, но для выработки остатков горючего из топливного бака автомобиля в случаях резкого понижения температуры окружающей среды. Рекомендация относится к ДТ, приобретенному в регионе.

Список литературы

1. Клементьев, В.Н. Тенденции улучшения качества и низкотемпературных свойств дизельных топлив / В.Н. Клементьев, В.О. Левин // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2015. – №29. – С. 36-40.
2. Камешков, А.В. Получение дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами (обзор) / А.В. Камешков, А.А. Гайле // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2015. – №29. – С. 49-60.
3. Diemand, D. Automotive Fuels at Low Temperatures // Cold regions technical digest. – No.91-2. – New Hampshire: Cold Regions Research and Engineering Laboratory Hanover, 1991. – 25 p.
4. Трофименко, И.Л. Исследование возможности использования летнего дизельного топлива с добавками других топлив в условиях низких температур / И.Л. Трофименко, Н.В. Вепринцев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2010. – №8. – С. 179-185.
5. Лобашова, М.М. Улучшение качества дизельных и котельных топлив присадками: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07 / Лобашова Марина Михайловна. – Всерос. науч.-исслед. ин-т по переработке нефти, 2014. – С. 51-81.
6. Недайборщ, А.С. Исследование совместимости присадок различного функционального назначения в дизельных топливах ЕВРО: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07 / Недайборщ Анна Сергеевна. – Всерос. науч.-исслед. ин-т по переработке нефти, 2015. – С. 10-34.
7. Иванова, Л.В. Регулирование низкотемпературных свойств нефтяных систем разного уровня сложности: дис. ... доктора хим. наук: 02.00.13 / Иванова Людмила Вячеславовна. – ФГБОУ ВО «Российский гос. ун-т нефти и газа (нац. исследов. ун-т) им. И. М. Губкина 2016. – С. 61-75, 127-142.
8. Phozilov, S.F. The Syntheses Heterocyclic Airwaves Polimetakryl Acids and Study of the Influence upon Low Temperature Characteristic of Diesel Gas / S.F. Phozilov, B.F. Pulatova // International Journal of Chemical and Physical Sciences. – 2015. – No.6. – Vol.4. – P. 18-21.
9. Kemalov, A.F. Development of the composition of depressor-dispersant additives for petroleum fuels / A.F. Kemalov [et al.] // Life Science Journal. – 2014. – 11(12s). – P. 461-465.

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

10. Baczewski, K. Experimental testing of influence of commercial depressants on diesel fuels low temperature properties / K. Baczewski, P. Szczawiński, M. Kamińska // Journal of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – No.1. – Vol.22. – P. 7-14.
11. Лозинский, Н.С. Оценка эффективности действия коммерческих депрессорных присадок на предельную температуру фильтруемости топлива дизельного летних марок // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: III Респ. науч.-практ. интернет-конф. (28-29 ноября 2017, г. Донецк): тез. докл. №2. – Донецк: ДонНУЭТ имени Михаила Туган-Барановского, 2017. – С. 36-38.

E.N. Lozynskyy
Donetsk Polytechnic College (Donetsk)
N.S. Lozynskyy /Cand. Sci. (Eng.)/
L.M. Litvinenko Institute of Physic-Organic Chemistry and Carbon Chemistry (Donetsk)

ON IMPROVEMENT OF LOW-TEMPERATURE FUELS OF DIESEL JET ENGINE FUEL, GASOLINE OR COMMERCIAL DEPRESSOR-DISPERSING ADDITIVES

Background. *A review of the literature devoted to improving the low-temperature properties of diesel fuels performed. The methods available to motorists are: mixing with fuels that have the best low-temperature properties or modified by depressant-dispersant additives.*
Materials and/or methods. *The objects of research: diesel fuel of the summer brand produced by two different manufacturers; jet engine fuel, gasoline and commercial depressor-dispersant additives. The character of the change in density, fractional composition, flashpoint in a closed crucible, and the cold filter plugging point from the amount of additive studied.*
Results. *The suitability of the method evaluated by the criterion of compliance with the diesel fuel standard of the resulting mixture or modified product. When diesel fuel and jet engine fuel mixed, the density of the samples decreases, the fractional composition, flashpoint in the closed crucible and the cold filter plugging point approach the corresponding parameters of the added component. However, it is not for every diesel fuel producer that compliance with the standard achieved with the latest parameter, and if achieved, is starting with the introduction of more than 30 % of the additive volume. The use of a mixture of diesel fuel with gasoline is not applicable. The introduction of commercial depressant-dispersant additives into diesel fuels does not affect the density, fractional composition, and flashpoint in the closed crucible, the starting materials, but improves their cold filter plugging point. The effectiveness of commercial depressant-dispersant additives depends on the diesel fuel producer.*
Conclusion*. Recommended lowering the cold filter plugging point by modifying with a depressant-dispersant additive and refraining from diluting diesel fuel with jet engine fuel and in no case by gasoline.*

Keywords: *fuel diesel, jet engine fuel, gasoline, depressor-dispersing additives.*

Сведения об авторах

Е.Н. Лозинский
Телефон: +380 (99) 469-21-44
Эл. почта: plozav@mail.ru

Н.С. Лозинский
SPIN-код: 6060-9575
Author ID: 638770
ORCID iD: 0000-0001-6119-6359
Телефон: +380 (71) 416-80-93, +380 (66) 574-25-08
Эл. почта: lozinsky58@mail.ru

Статья поступила 14.06. 2018 г.
© Е.Н. Лозинский, Н.С. Лозинский, 2018
Рецензент к.т.н., доц. И.Г. Дедовец

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@gmail.com**

Внимание! Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов любым из способов (по телефонам **+380 (66) 176-72-65, +380 (62) 301-07-89** или 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.

Требования к рекламно-информационным материалам, публикация которых оплачивается, согласовываются непосредственно с редакцией журнала.

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

Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) – родоначальник инженерного образования в Донбассе, признанное в мире высшее учебное заведение, активно осуществляющее международное научно-техническое сотрудничество с более чем 80 известными университетами из 25-ти стран мира и 32 иностранными фирмами, являющееся членом 24-х ведущих международных образовательных ассоциаций.

С момента основания в 1921 году старейший технический вуз Донбасса подготовил свыше 230 тысяч инженерно-технических кадров различной квалификации, из которых: **160 тысяч** – специалисты и магистры, **60 тысяч** – бакалавры, **15 тысяч** – младшие специалисты; около **2,5 тысяч** иностранных студентов из 70-ти стран мира.

Основные задачи ДонНТУ на 2018-й год:

1) Восстановление контингента студентов.

2) Восстановление количественных и качественных показателей преподавательского состава.

3) Восстановление и развитие материально-технической базы.

4) Поиск и реализация инновационных путей развития.

5) Укрепление репутации ДонНТУ как важнейшего в Донбассе и одного из наиболее значительных на всем русскоязычном пространстве научно-образовательных центров технического направления.



Адрес главного 1-го корпуса: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58
Интернет: http://science.donntu.org

Ректор: +380 (62) 337-17-33
Справка: +380 (62) 301-07-09
Канцелярия: +380 (62) 301-07-69
Приемная комиссия: +380 (62) 301-08-89

Научно-исследовательская часть: +380 (62) 304-60-82
Центр карьеры и общественных коммуникаций: +380 (62) 334-28-35
Издательство «Донецкая политехника»: +380 (62) 304-92-51