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

ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЕСТНИК

№3 (9) 2017 г.

III Выставка
научно-технических разработок
научных и образовательных
организаций



III МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

24-26 мая 2017 г.
г. Донецк

ВЕСТНИК ДонНТУ

№3(9)'2017

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
2017. №3(9)

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 №10 от 24.11.2017

Формат 60×84 1/8. Заказ 1117.
Изд-во «Донецкая политехника», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

А.Е. Воробьев, Ю.Ф. Булгаков, С.В. Борщевский, А.К. Мурзаева
Развитие профессиональных компетенций у студентов ресурсных вузов 3

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

С.А. Снитко, А.В. Яковченко, А.Л. Сотников
Взаимосвязь режимов прокатки с нагрузками и запасом прочности наклонных валков колесопрокатных станов горизонтального и вертикального типов 14

А.Я. Бабанин, М.Ю. Ткачев, В.В. Белоусов, Н.В. Паламарчук
Особенности конструкции трайб-аппарата для подачи порошковой ленты в литейном производстве и механизации армирования бетонных изделий 30

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

И.В. Тарабаева, В.Ф. Шавлак
Исследование процесса перемещения вагонетки толкателем с линейным индукционным двигателем с применением математического моделирования 38

Е.В. Рябко
Анализ факторов, влияющих на надежность дизельных силовых установок карьерных и рудничных локомотивов 44

В.Ф. Шавлак
Алгоритм и особенности расчета горизонтально-наклонного скребкового конвейера с высокими скребками 52

ЮБИЛЕИ И ПЕРСОНАЛИИ

К 90-летию А.Г. Пономаренко 57

ИНФОРМАЦИЯ

Требования к статьям, направляемым в редакцию 58

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 печатном и 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(9)'2017

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
2017. No. 3(9)

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.____ dated 23.12.2016

Format 60×84$^{1/8}$. Order 1216.
Publishing house
"Donetsk Polytechnic", 2016

CONTENTS

SCIENTIFIC NOTES

A.E. Vorobyov, Yu.F. Bulgakov, S.V. Borschevsky, A.K. Murzaeva
The development of professional competencies
of students of resource universities 3

ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

S.A. Snitko, A.V. Yakovchenko, A.L. Sotnikov
The relationship of rolling modes with loads and safety margin
of edging rolls in horizontal and vertical wheel-rolling mills..... 14

A.Ya. Babanin, M.Yu. Tkachev, V.V. Belousov, N.V. Palamarchuk
Design features of the wire-feeding machine for feeding filler wire
In foundry and mechanization of concrete products reinforcing..... 30

TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION ENGINEERING

I.V. Tarabayeva, V.F. Shavlak
The study of the process of moving a tub by the pusher
with a linear induction motor using mathematical modeling..... 38

E.V. Ryabko
Analysis of factors affecting the reliability of diesel
power units of the quarry and mine locomotives..... 44

V.F. Shavlak
The algorithm and calculation of the horizontal incline
scraper conveyor with high scrapers..... 52

ANNIVERSARIES AND BIOGRAPHY

To the 90th anniversary of A.G. Ponomarenko 57

INFORMATION

Requirements for the papers submitted to the Editorial office..... 58

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 editorial accepts for publication and reviews manuscripts on chemical and technical sciences, and the following groups of specialties: 05.02 – Engineering and engineering science; 05.05 – Transport, mining and construction engineering; 05.09 – Electrical engineering; 05.16 – Metallurgy and materials science; 05.17 – Chemical technology.

УДК 378.147

А.Е. Воробьев /д.т.н./
Атырауский университет нефти и газа (Казахстан)
Ю.Ф. Булгаков /д.т.н./, С.В. Борщевский /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)
А.К. Мурзаева
Баткенский государственный университет (Кыргызстан)

РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ РЕСУРСНЫХ ВУЗОВ

Приведены существующие проблемы высшего профессионального образования, характерные для вузов ресурсной специализации, основной из которых является серьезный разрыв между теорией, которую студенты получают в вузе, и практическими навыками и умениями – компетенциями, которых ждут от них работодатели. Установлено, что основные предпосылки дальнейшего эффективного развития высшей школы заложены в использовании как студенто-ориентированного, так и компетентностного подхода, включая широкое применение активных и инновационных методик и технологий обучения студентов, явно ориентирующих их по окончании вуза на практическую деятельность. Рассмотрены сущность и механизмы формирования инженерных компетенций, которые через определенные формы учебных занятий непосредственно связаны с различными элементами усвоения студентами необходимой информации. Показано, что компетентностный подход в современном образовании предполагает развитие у студентов явно выраженной способности самостоятельно решать довольно сложные производственные, организационные, экономические, экологические, социальные, коммуникационные и иные проблемы в различных видах деятельности и областях производства на основе использования предшествующего опыта, получаемого в вузе путем моделирования в учебном процессе определенных реальных условий, связанных с осуществлением ими будущей профессиональной деятельности. Показана необходимость выявления на каждом курсе уровня сформированных у студентов профессиональных компетенций. Представлена разработанная структурно-функциональная модель формирования инженерных компетенций студентов ресурсных вузов, и рассмотрено на этой основе сравнение эффективности применения различных методов и приемов обучения студентов, а также влияние инновационных технологий на их обучение.

***Ключевые слова**: компетенции, инновационные методы обучения, ресурсные университеты.*

Переход мировой экономики на 6-й экономический уклад в конце XX в. (характеризуемый нанотехнологиями, биоинженерией, интеллектуализацией промышленного производства и т. д.) одновременно предполагает кардинальное изменение ранее сложившихся и применяемых в высшем профессиональном образовании подходов и методик обучения студентов [1].

В ходе проводимых исследований было установлено, что значительной проблемой высшего профессионального образования в настоящее время является серьезный разрыв между теорией (которую студенты получают в вузе) и практическими навыками и умениями (компетенциями, которых ждут от них работодатели). Так, в ходе анкетирования работодателей было выявлено, что свыше 70 % из них считает совершенно необходимым прохождение выпускниками российских технических университетов перед началом трудовой деятельности дополнительного повышения квалификации.

Авторами были определены существующие вызовы современному техническому (инженерному) образованию, а также обусловленные ими различные перспективные инновации образовательного процесса. Было установлено, что основным недостатком современной системы российского высшего образования является явно недостаточная практическая составляющая и несколько повышенная теоретизация существующего учебного процесса (рис. 1).

Поэтому многие исследователи российской высшей школы полагают, что основные предпосылки дальнейшего ее эффективного развития заложены в использовании как студенто-ориентированного, так и компетентностного подхода (включая широкое применение активных и инновационных методик и технологий обучения студентов, явно ориентирующих их по окончании вуза на практическую деятельность).

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



Рис. 1. Современные внутренние вызовы российскому высшему профессиональному образованию

В настоящее время качество образования студентов российских технических вузов определяется прежде всего способностью выпускников комплексно сочетать производственную и исследовательскую деятельность, ориентированные на эффективное создание новых и совершенствование действующих инновационных структур, реализацию прикладных наукоемких проектов, обеспечивающих определенную финансовую отдачу, прямо влияющих на дальнейший рост и развитие различных сфер современного промышленного производства.

Также были рассмотрены сущность и механизмы формирования инженерных компетенций, которые через определенные формы учебных занятий (рис. 2) непосредственно связаны с различными элементами усвоения студентами необходимой информации [2].

В первую очередь, компетентностный подход в современном образовании предполагает развитие у студентов явно выраженной способности самостоятельно решать довольно сложные производственные, организационные, экономические, экологические, социальные, коммуникационные и иные проблемы в различных видах деятельности и областях производства на основе использования предшествующего опыта, получаемого в вузе путем моделирования в учебном процессе определенных реальных условий, связанных с осуществлением ими будущей профессиональной деятельности.

В настоящее время для исследования формируемых в вузе профессиональных компетенций студентов целесообразно выделять три следующих основных аспекта:

– знания, представляющие собой имеющуюся у студента систематизированную специализированную информацию и методики ее эффективного использования, позволяющие ему понять и быстро проанализировать практическую задачу и на этой основе выбрать наиболее оптимальный путь для ее разрешения, а также качественно и количественно оценить получаемый результат;

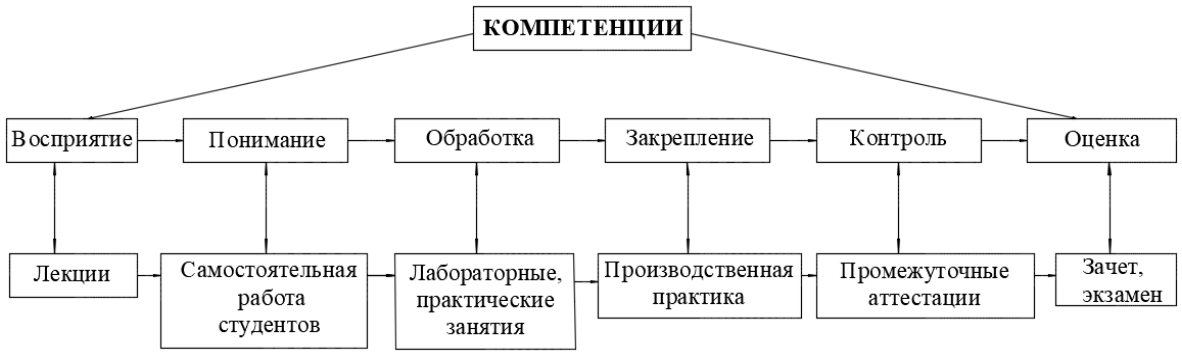


Рис. 2. Взаимосвязь формирования компетенций и организационных форм обучения студентов

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

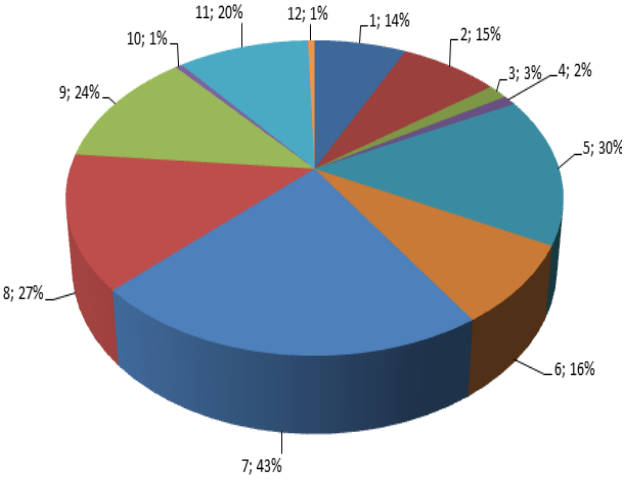


Рис. 3. Начальный уровень компетенций студентов Алтайского государственного технологического университета, обучающихся по направлению «Информатика»: *1* – работа с информацией; *2* – программирование; *3* – логика; *4* – моделирование и компьютерные эксперименты; *5* – устройства коммуникационных и информационных технологий; *6* – программные продукты; *7* – обработка текста; *8* – обработка графиков и звуковой информации; *9* – обработка электронных таблиц; *10* – технология хранения, поиска и сортировки информации в базах данных; *11* – телекоммуникационные технологии; *12* – информационная безопасность

– умения и навыки, приобретенные студентом в вузе на основе прохождения специальных тренингов, и наличие практического опыта решения аналогичных задач;

– способность к использованию и дальнейшему росту полученных профессиональных компетенций, т.е. совершенствование личностных качеств студентов, определяющих последующие возможность и желание применять и развивать данные компетенции, а также получать новые знания, накапливать и обобщать собственный опыт, сформированный в вузе, при решении конкретных профессиональных задач.

При исследовании уровня формируемых компетенций, на основе полученных количественных данных о работе студентов в семестре (курсе), на отдельных диагностических шкалах наносятся их начальные квалификации и отдельно их начальные личностные характеристики (рис. 3).

Затем, в следующем семестре или на следующий год, следует установить уже новый уровень компетенций студентов и произвести сравнение с их первоначальными компетенциями, на основе которого и осуществляется выявление произошедших изменений в профессиональном развитии студентов вузов.

При этом уже используют специальные тестовые задания, представленные кейсами и ситуационными задачами, выполнение которых предполагает обязательное применение имеющихся у студентов системных профессиональных знаний и комплексных умений, а также самостоятельное конструирование способа возможного их разрешения.

Эти диагностические шкалы, во-первых, показывают динамику развития уровня компетенций студентов с течением времени (рис. 4), а во-вторых, отображают появление у них совершенно новых профессиональных компетенций. В результате появляется реальная возможность увидеть и оценить поэтапный план развития компетенций каждого студента, т.е. четкую динамику этого процесса, а также понять, над какими конкретными вопросами (компетенциями) ему следует больше работать в дальнейшем.

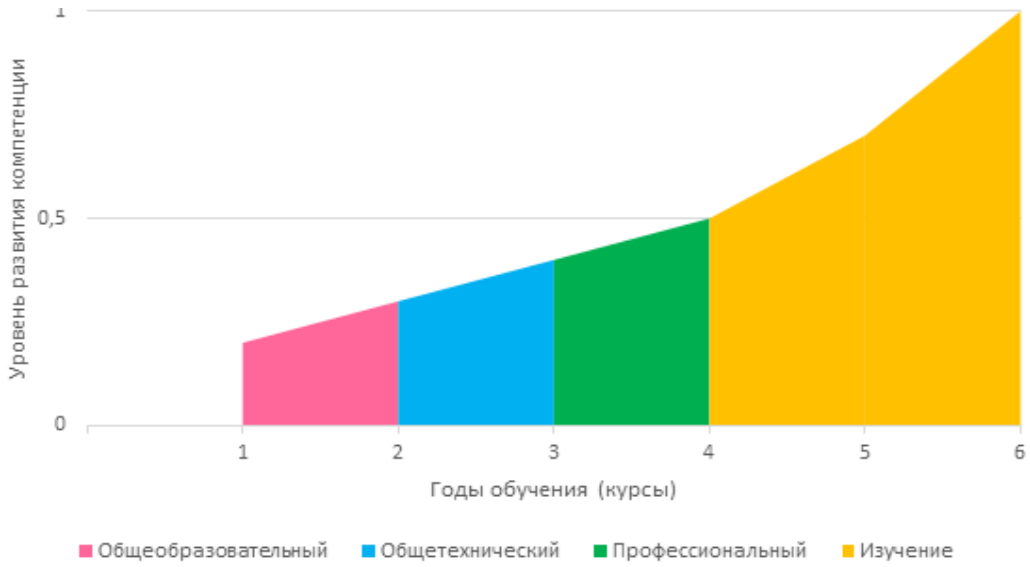


Рис. 4. Динамика развития уровня профессиональной компетенции студентов

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

Кроме этого, в Северо-Кавказском федеральном университете (СКФУ) была проведена экспертная оценка качественно-количественного уровня развития профессионально-личностных компетенций выпускников вузов, некоторое время уже трудящихся на реальном производстве, в результате которой был построен их усредненный компетентностный профиль (рис. 5). Оказалось, что наиболее низкий уровень имеют такие компетенции, как профессиональное общение на иностранных языках и умение продавать свой продукт.

Были рассмотрены результаты исследования эффективности применения современных инновационных методик преподавания специальных дисциплин в российских технических университетах. Проведенное теоретическое исследование инновационных методов формирования профессиональных компетенций студентов технических вузов позволило разработать структурно-функциональную модель, раскрывающую и обосновывающую все эти процессы (рис. 6).



Рис. 5. Компетентностный профиль специалистов

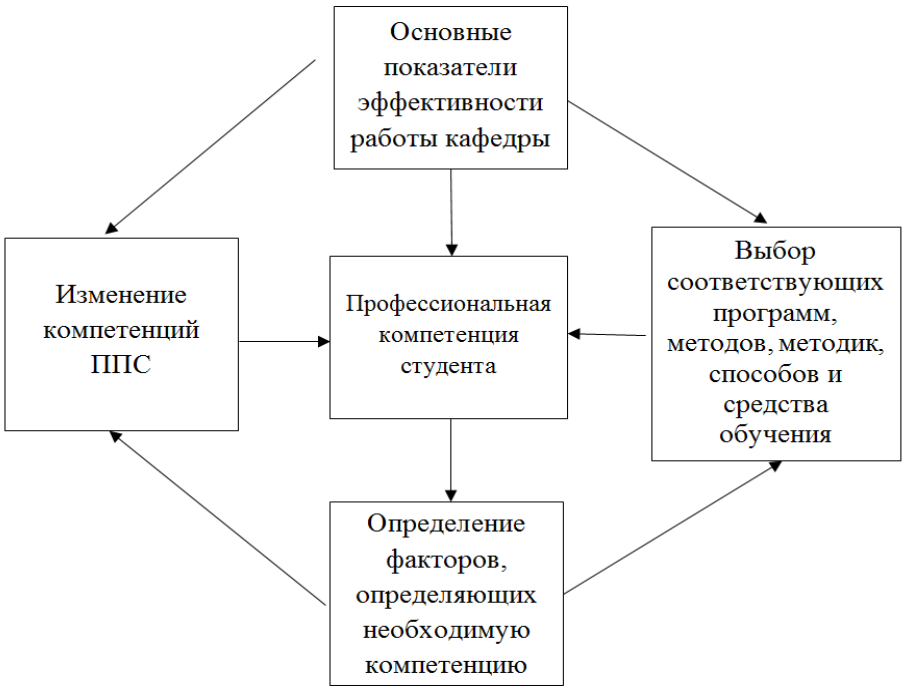


Рис. 6. Структурно-функциональная модель формирования инженерных компетенций студентов технических вузов

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

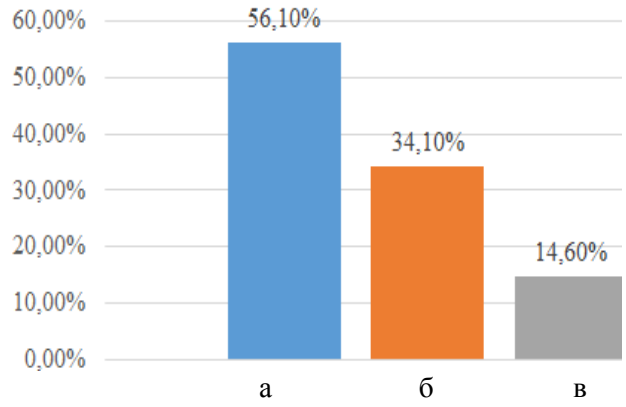


Рис. 7. Соотношение несовершенства современной подготовки студентов: *а* – недостаточная адаптация учебных программ высшего профессионального образования к потребностям реального производства; *б* – несовершенство механизмов, обеспечивающих взаимосвязь между вузами и рынком труда; *в* – недостаточная ориентация вузов на формирование личностных, мотивационных и коммуникативных компетенций выпускников

Важнейшей проблемой развития современной системы высшего технического образования, препятствующей дальнейшему повышению уровня конкурентоспособности выпускников учебных заведений, является недостаточная адаптация (>55 %) учебных программ к существующим потребностям реального производства (рис. 7). Так, многие эксперты отмечают определенное несовершенство образовательных механизмов, должных обеспечивать взаимосвязь между высшими учебными заведениями и рынком труда.

В частности, было установлено, что классическая лекция преподавателя (не сопровождаемая слайдами и другими иллюстрациями) является наименее эффективным методом обучения студентов (рис. 8), обеспечивая в среднем освоение только около 5 % предоставляемой необходимой учебной информации, в то время как при активных методах обучения усваивается уже 90 % (по данным проф. СКФУ В.И. Рыбальского).

Однако количественный анализ учебных процессов в вузе показывает довольно частую недостаточность использования профессорско-преподавательским составом (ППС) интерактивных и активных форм обучения студентов [3]. Так, пока еще 78 % преподавателей вузов не владеют в должной мере методиками интерактивного обучения студентов и не применяют их.

В последнее время в качестве современных и эффективных методов обучения студентов вузов были предложены и апробированы лекции проблемного характера различных уровней (табл. 1), имитационно-деятельностные игры, самостоятельная работа на отдаленном лабораторном комплексе, обучение с помощью различных тренажеров и на основе специализированных проектов и др., имеющих различную эффективность и степень воздействия на процесс обучения студентов.

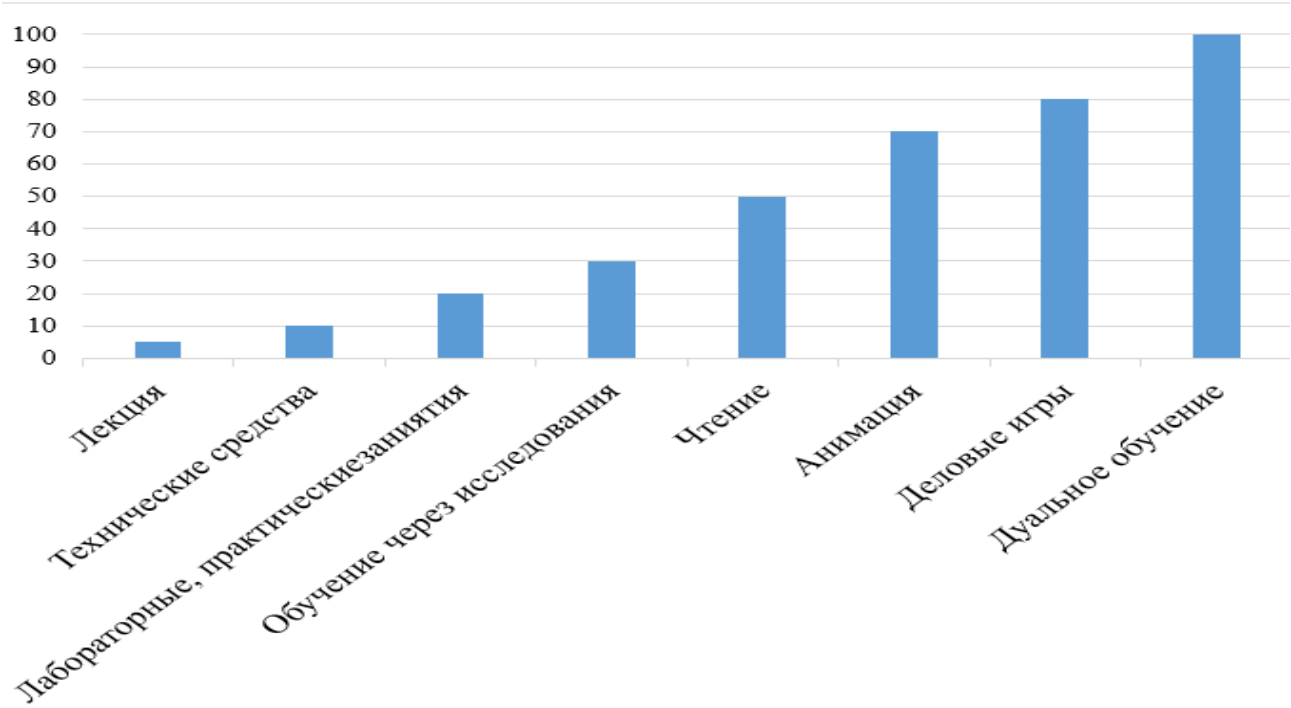
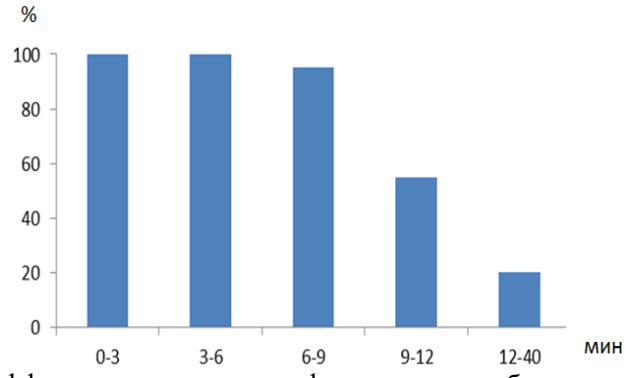
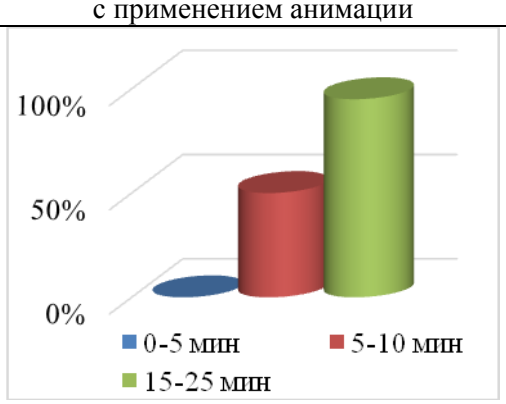


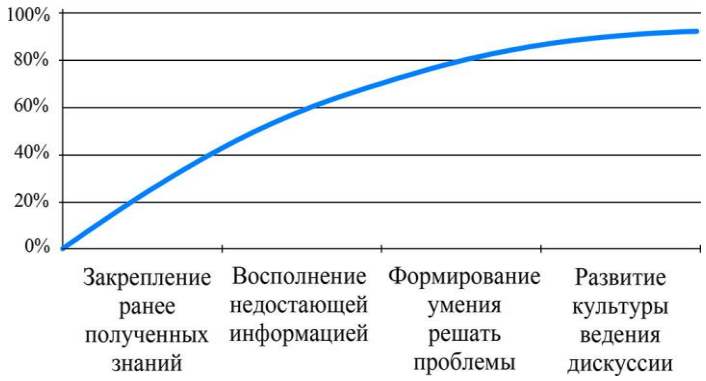
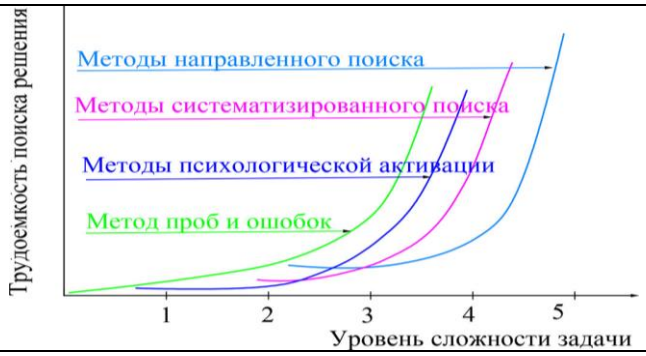
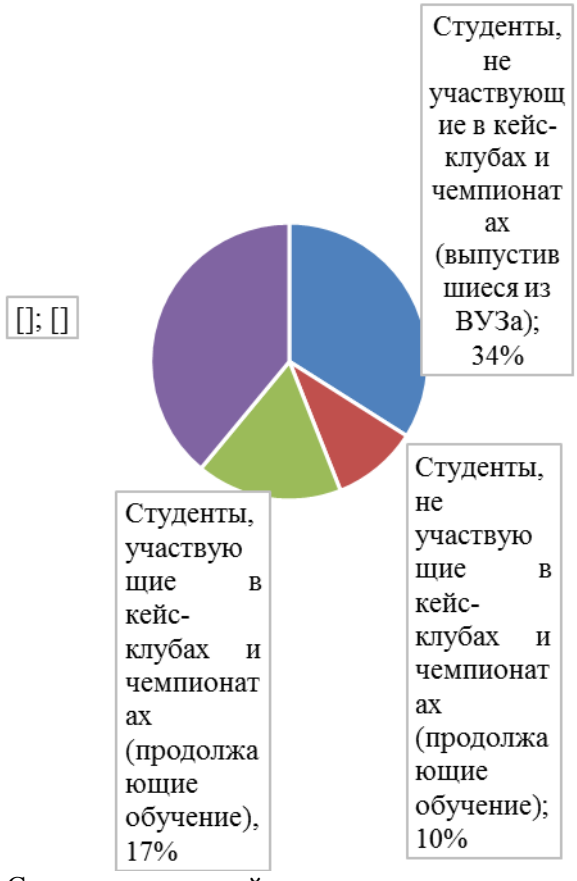
Рис. 8. Сравнение эффективности применения различных методов и приемов обучения студентов

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

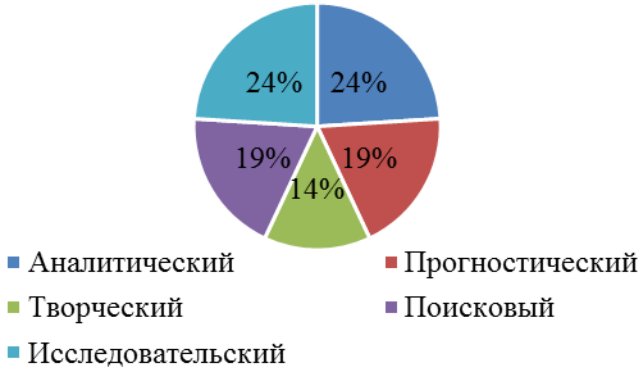
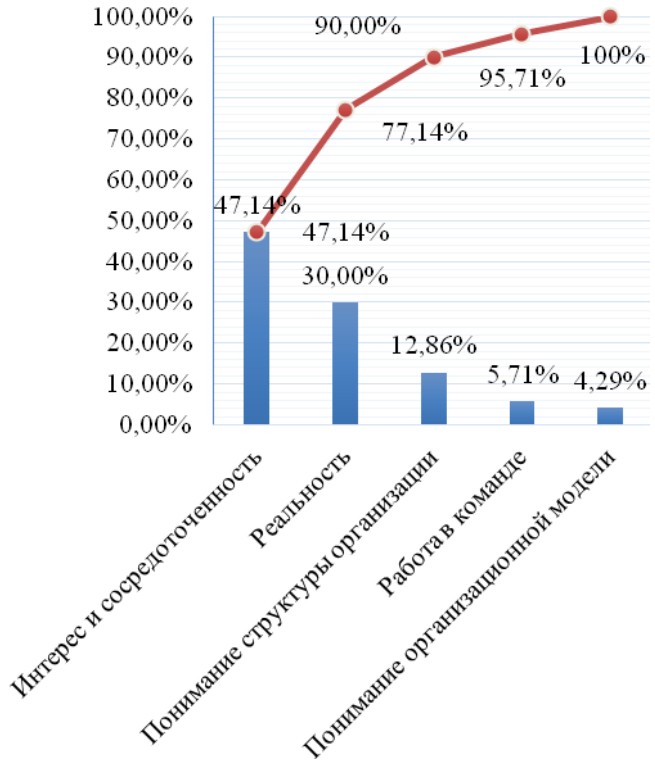
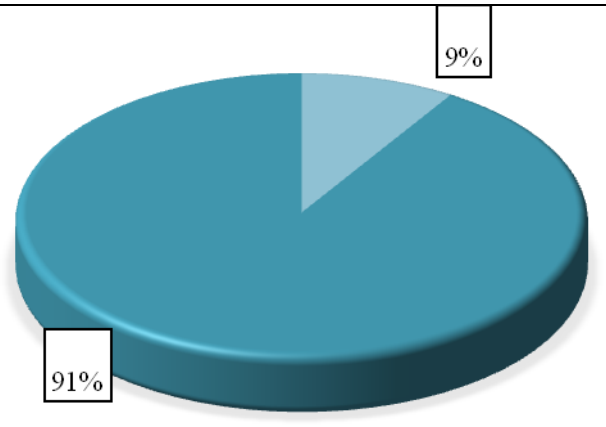
Табл. 1. Влияние инновационных технологий на обучение студентов [1]

Инновационная технология обучения	Характеристика	Графическое выражение эффективности
Видео-конференц-связь	Обеспечивает повышение уровня синхронизации в общении студентов и преподавателя	 Эффективность видеоконференцсвязи в образовании студентов в зависимости от длительности
Презентация	Предоставляет значительную наглядность осваиваемому учебному материалу	 Средняя оценка на экзаменах: *1* – при использовании презентаций ППС в ходе обучения студентов; *2* – без презентаций
Анимация	Придает осваиваемому учебному материалу ярко запоминающийся упрощенно-образный вид	 Эффективность учебного процесса с применением анимации
Видеофильм	Обеспечивает полноценную визуализацию учебного материала	 Рекомендуемое время воспроизведения видеофильма для использования в учебном процессе

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

Инновационная технология обучения	Характеристика	Графическое выражение эффективности
«Круглый стол»	Позволяет закрепить полученные ранее теоретические знания, практические навыки и профессиональные компетенции, а также восполнить возможные пробелы в предоставленной преподавателями специальной учебной информации, научить необходимой культуре ведения дискуссии и др.	
Мозговой штурм	Помогает продуцировать принципиально новые креативные инновационные идеи, предназначенные для решения актуальных научных и практических проблем	
Анализ конкретных ситуаций (кейс-метод)	Предполагает обучение детальному разбору предложенной ситуации, возникающей на реальном производстве, и в итоге выработку ее практического эффективного решения	

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

Инновационная технология обучения	Характеристика	Графическое выражение эффективности
Игровое проектирование	Обеспечивает конструирование, проектирование и разработку технологии производства работ или практической деятельности, проводимое в игровой форме	 Влияние игрового проектирования на проекты
Деловая игра	Имитация возможных профессиональных ситуаций, моделирующих производственную деятельность, путем реализации и проведения определенной игровой ситуации, по заранее заданному сценарию	
Ролевая игра	Воспроизведение возможных действий и отношений на производстве	 Влияние ролевой игры на компетенции

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

Инновационная технология обучения	Характеристика	Графическое выражение эффективности
Обучение через исследования	Приближение процесса студенческого познания к реальной поисковой, либо прямой научно-исследовательской деятельности	
Дуальное обучение	Сочетание учебной и производственной деятельности	

При этом оказалось, что одним из наиболее эффективных способов получения качественного образования для студентов технических вузов (проявляющееся в развитии у них необходимых профессиональных компетенций) является их реальное участие в научных исследованиях, т. е. использование технологий, непосредственно включающих и познавательную и образовательную активность самих обучающихся.

Студентов вузов целесообразно вовлекать в научно-исследовательскую работу начиная еще с младших (1-2-х) курсов [2]. В результате, с течением времени в процессе такой работы у студентов бакалавриата неизбежно формируются необходимые первичные навыки научного исследования: умения анализировать специальную и научную литературу, планирования и осуществления лабораторных экспериментов, сбора данных, написания доклада, а также изложения его перед целевой аудиторией.

Учебная и научная деятельность магистрантов должна быть направлена на выявление объективно существующих закономерностей, явлений и процессов, происходящих в окружающем мире (в том числе – техногенных системах).

Кроме этого целесообразно, параллельно с традиционным обучением, переходить на систему дуального образования, которая обычно устраняет основной недостаток классических форм и методов обучения студентов, выражающийся в разрыве между теорией и практикой. К тому же, основным преимуществом дуального обучения студентов в вузах является обеспечение более высокого процента трудоустройства выпускников по направлению специальности своего обучения, т. к. они не только полностью отвечают требованиям работодателя, но уже «прошли» через его производство, где о них сложилось объективное мнение (рис. 9).

В результате, в дуальной системе обучения

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



Рис. 9. Преимущества дуальной системы обучения студентов

студентов принципиально усиливается и даже качественно меняется роль работодателя, который начинает весьма активно участвовать в подготовке будущих специалистов («под себя», под существующие нужды реального производства).

Для этого учебный процесс организуется следующим образом: параллельно с обычной (традиционной) учебой в вузе (которая обеспечивает необходимую общеобразовательную и общетехническую подготовку) студенты обучаются (через лабораторные и практические занятия, а также учебные, производственные и преддипломные практики) и непосредственно работают на рабочем месте какого-то конкретного предприятия или научно-исследовательской организации, где и приобретают реальный практический опыт (что в совокупности составляет их профессиональную подготовку).

Такое тесное сочетание теоретических основ с применением полученных знаний на производстве (занимающим 30-40 % всего времени обучения) существенно интенсифицирует процесс формирования профессионального профиля специалиста (его профессиональных компетенций), вполне способного к самостоятельной работе сразу же после окончания обучения, без дополнительной переподготовки.

Развитие инновационного подхода к инженерному (техническому) российскому образованию настоятельно требует актуализации теоретического материала уже с первого семестра обучения (рис. 10), т.е. уже в первый год обучения студенты должны четко осознать конкретную связь предлагаемого учебного материала с их будущей инженерной практической деятельностью, а также возможными трендами технического, технологического, экономического, экологического и социального развития человеческого общества.

Так, на 1-м курсе обучения в вузе студенты должны включиться в учебный процесс, ориентированный на формирование у них необходимых общеобразовательных компетенций, посредством изучения дисциплин гуманитарного, экономического и социального плана (на базе таких методов обучения, как групповые дискуссии, ролевые игры и тренинги и т.д.).

На данном этапе формирования таких компетенций происходит актуализация имеющегося личностного опыта, существующих норм и правил, умения четко фиксировать учебный материал (записывание лекций, работа с первоисточниками и др.), а также овладение методами и приемами работы со сложным техническим текстом.

На 2-м курсе обучения студентов формирование у них уже общетехнических компетенций во многом осуществляется на базе решения практических задач (на основе применения методов мозгового штурма, кейс-стади, разработки групповых проектов и т.д.).

Затем, на 3-4-м курсах обучения студентов, формирование необходимых профессиональных компетенций осуществляется в контексте таких методов обучения, как «обучение через науку» и дуальное обучение.

При этом неизбежно возникает необходимость перераспределения соотношения различных видов учебной нагрузки. Так, целесообразно, чтобы на уровне бакалавриата в этот период

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

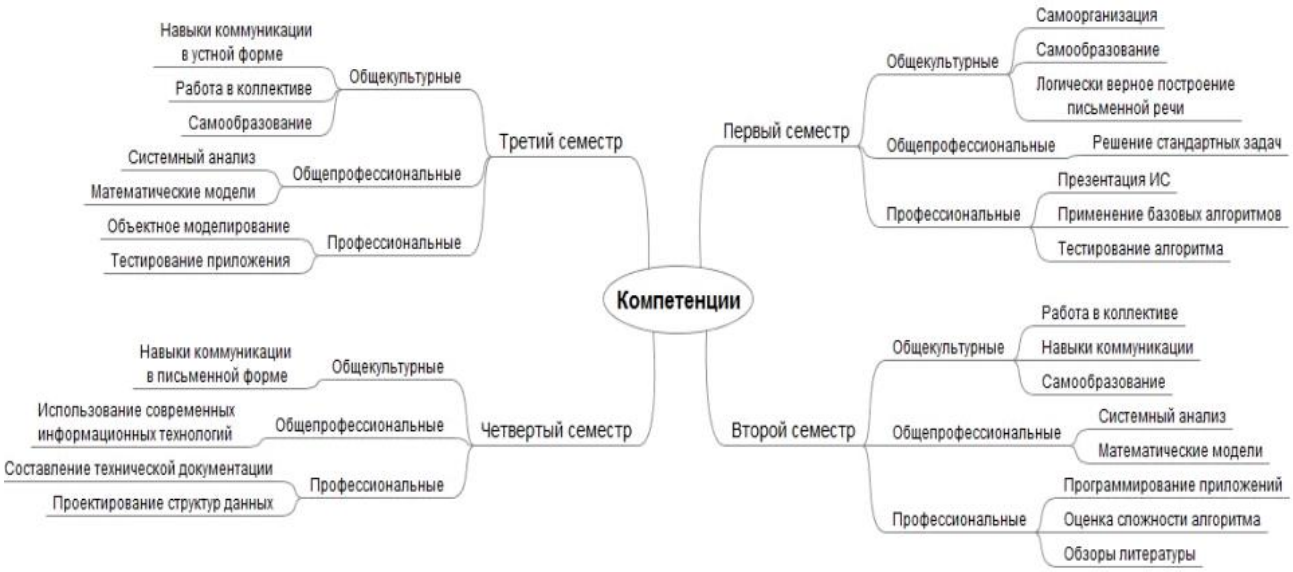


Рис. 10. Карта приобретаемых студентами компетенций [4]

лекции составляли не более 40 %, а активные формы обучения студентов – не менее 20 %, на уровне магистратуры лекции уже не превышали 20 %, а активные формы обучения студентов – не менее 40 %.

Список литературы

1. Воробьев, А.Е. Инновации в образовательном процессе / А.Е. Воробьев, Н.В. Айкина, А.К. Мурзаева // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 10 (28). – С. 2-10.
2. Воробьев, А.Е. Проблема оценки компетенций студентов, получаемых в вузах / А.Е. Воробьев, А.К. Мурзаева // Вестник международного университета Кыргызстана. – 2017. – № 3 (33). – С. 32-38.
3. Воробьев, А.Е. Образование через науку / А.Е. Воробьев, А.К. Мурзаева // Аккредитация в образовании. – 2017. – № 4 (96). – С. 32-34.
4. Конова, Е.А. Интерактивный метод оценки знаний на основе применения технологии Case Study / Е.А. Конова, Г.А. Поллак // Вестнмк Южно-Уральского гос. университета. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2013. – № 3. Т. 5. – С. 93-97.

Сведения об авторах

А.Е. Воробьев
SPIN-код: 3457-6870
ORCID ID: 0000-0002-7324-428X
Телефон: +7 (906) 777-49-55
Эл. почта: fogel_al@mail.ru

С.В. Борщевский
Телефон: +380 (50) 907-54-46
Эл. почта: borshevskiy@gmail.com

Ю.Ф. Булгаков
Телефон: +380 (50) 608-87-18
Эл. почта: byl@mine.donntu.org

А.К. Мурзаева
Телефон: +99677-704-78-40
Эл. почта: ainagul27.02.70@mail.ru

Статья поступила 02.12.2017 г.

© А.Е. Воробьев, Ю.В. Булгаков, С.В. Борщевский, А.К. Мурзаева, 2017



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

УДК 621.771.294

С.А. Снитко /к.т.н./, А.В. Яковченко /д.т.н./, А.Л. Сотников /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ С НАГРУЗКАМИ И ЗАПАСОМ ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ ВАЛКОВ КОЛЕСОПРОКАТНЫХ СТАНОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПОВ

Для колесопрокатных станов горизонтального и вертикального типов изучена взаимосвязь режимов прокатки с силовыми нагрузками, напряженно-деформированным состоянием и коэффициентом запаса прочности наклонных (эджерных) валков. На этой основе установлено, что рациональным является вариант уменьшения значения раскатки обода по внутреннему диаметру (например, для колес с плоскоконическим диском диаметром 957 мм на 40-50 мм) за счет увеличения диаметра обода штампуемой колесной заготовки и использования схем штамповки, предусматривающих разгонку центральной части заготовки перед ее формовкой в штампах.

Ключевые слова: *колесопрокатные станы горизонтального и вертикального типов, режимы прокатки, силовые нагрузки, напряженное состояние и коэффициент запаса прочности наклонных (эджерных) валков.*

Постановка проблемы

Современные процессы прокатки железнодорожных колес характеризуются значительными эксплуатационными нагрузками на рабочие органы колесопрокатных станов (КПС). Указанные нагрузки носят знакопеременный характер и отличаются неравномерностью, которая связана с существенной нестационарностью процесса прокатки.

В связи с этим важно установить взаимосвязь режимов прокатки с нагрузками и напряженно-деформированным состоянием (НДС) рабочих органов КПС, а также актуально решить научно-техническую проблему увеличения срока службы валков за счет совершенствования режимов прокатки.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ технической литературы показывает, что на сегодняшний день достаточно глубоко изучены особенности формоизменения металла и его НДС при прокатке железнодорожных колес на КПС горизонтального [1-6 и др.] и вертикального [7-9 и др.] типов. Также для обоих типов КПС созданы научно обоснованные методы автоматизированного проектирования режимов деформации и калибровок [10,11].

Представления об эксплуатационных нагрузках на валки КПС основываются на результатах теоретических исследований, выполненных более 30 лет назад [1,2] и представляющих собой весьма упрощенные аналитические модели расчета сил прокатки, соответствующие уровню развития теории прокатки середины прошлого века [12,13 и др.].

Результаты исследований эксплуатационных нагрузок и НДС рабочих органов КПС с учетом реальной кинематики процесса прокатки, его стадийности в технической литературе практически отсутствуют.

Попытки оценить нагрузки на наклонные валки КПС с помощью современных систем конечно-элементного моделирования реализованы без учета реальной кинематики процесса [14], что делает невозможным совершенствование режимов прокатки с целью минимизации нагрузок на рабочие органы КПС и, соответственно, повышение срока эксплуатации валков без поломок.

Одним из основных видов инструмента деформации КПС являются наклонные валки. На станах горизонтального типа они служат для реализации осевых и радиальных обжатий обода штампованной колесной заготовки, а также для выкатки диска.

На современных станах вертикального типа наклонные валки, которые чаще называют раскатными (или эджерными), осевые обжатия обода не выполняют. Для этого служит пара неприводных конических роликов [7].

На КПС горизонтального и вертикального типов оба наклонных валка, как правило, являются приводными (остальные ролики или валки – неприводные) и совместно с парой нажимных валков на КПС горизонтального типа или одним нажимным валком большего диаметра на КПС вертикального типа образуют очаг пластической

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

деформации, в котором происходит увеличение диаметра обода колеса. В зависимости от режима прокатки скорость роста диаметра обода прокатываемого колеса может быть различной.

Режим прокатки определяется формой и размерами поступающей на стан отштампованной на формовочном прессе колесной заготовки, а также технологическими параметрами процесса прокатки.

Геометрические параметры колесной заготовки обуславливают суммарные (за весь процесс прокатки) величины осевого и радиального обжатий обода, а также величину раскатки обода по внутреннему диаметру, соответственно при прокатке эти параметры изменить нельзя.

Величины частных (на каждом обороте колеса) обжатий обода и связанная с ними скорость роста внутреннего диаметра обода определяются технологическими режимами прокатки, которые можно изменять по ходу этого процесса.

Технологический режим прокатки колеса на КПС выбирают исходя, прежде всего, из условия получения требуемых геометрических параметров прокатанного колеса: величины внутреннего диаметра обода, размеров гребня и ширины обода.

На современных прессопрокатных линиях колесные заготовки штампуют на формовочном прессе, как правило, с полномерным гребнем. Величины раскатки обода по диаметру и суммарного осевого обжатия обода на КПС вертикального типа могут быть минимальными, необходимыми для качественного оформления всех элементов обода. С помощью такой технологии можно решать задачу снижения цикла прокатки. Однако эта технология является весьма чувствительной к стабильности размеров штампованной колесной заготовки. Кроме того, существуют ограничения, связанные с максимально возможным диаметром штампуемой колесной заготовки, который лимитируется силовыми возможностями существующих формовочных прессов.

На прессопрокатных линиях, оборудованных КПС горизонтального типа, гребень колеса получают, как правило, в процессе прокатки. Преимуществом такой технологии является, прежде всего, меньшая чувствительность к стабильности размеров штампуемой колесной заготовки. Также, в отличие от линий с КПС вертикального типа, можно назначать большие суммарные осевые обжатия обода (до 30 мм) на стане и снижать максимальный диаметр колесной заготовки (увеличивая ширину ее обода), а, следовательно, – необходимую для штамповки силу.

Во многих случаях получить колесо требуемых размеров можно, реализуя различные режимы прокатки. Очевидно, что при этом эксплуатационные нагрузки на прокатные валки также будут отличаться.

Важно отметить, что на КПС горизонтального и вертикального типов из всех прокатных валков именно наклонные являются наиболее нагруженными. Во-первых, они приводные и испытывают нагрузки кручения при прокатке. Во-вторых, величина реализуемых наклонными валками суммарных радиальных обжатий значительно больше аналогичных обжатий со стороны нажимных валков. И, в-третьих, в отличие от главных и нажимных валков, обладающих достаточно большой и равномерной толщиной бандажа и испытывающих эксплуатационные нагрузки в одной, вертикальной или горизонтальной, плоскости (в зависимости от типа КПС), наклонные валки, консольно закрепленные на валах, испытывают как горизонтальные, так и вертикальные изгибающие нагрузки знакопеременного характера. При этом технические характеристики КПС вертикального и горизонтального типов позволяют развивать силу в гидроцилиндрах рабочего хода наклонных валков до 1,5-1,8 МН.

В отличие от главных и нажимных валков, наклонные валки для прокатки нового типоразмера колеса почти всегда изготавливаются заново, так как их параметры зависят от размеров обода, диска и их взаимного расположения. Это является положительным моментом с точки зрения запаса усталости валка.

Вместе с тем практически у всех наклонных валков толщина бандажа по их длине изменяется. При этом существенным образом изменить конфигурацию наклонных валков и увеличить их габариты нельзя, так как они обуславливаются, соответственно, конфигурацией прокатываемого колеса и конструктивными параметрами стана (необходимо выдерживать требуемые технологические зазоры между валками при прокатке). Поэтому актуально определить технологические режимы прокатки, которые бы позволили минимизировать нагрузки на наклонные валки в наиболее нагруженных (опасных) сечениях.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является установление взаимосвязи между режимом прокатки колесной заготовки и нагрузками на наклонные валки КПС и на этой основе – определение рациональных режимов, обеспечивающих минимизацию эксплуатационных нагрузок и повышение запаса прочности наклонных валков в местах наиболее вероятной их поломки.

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

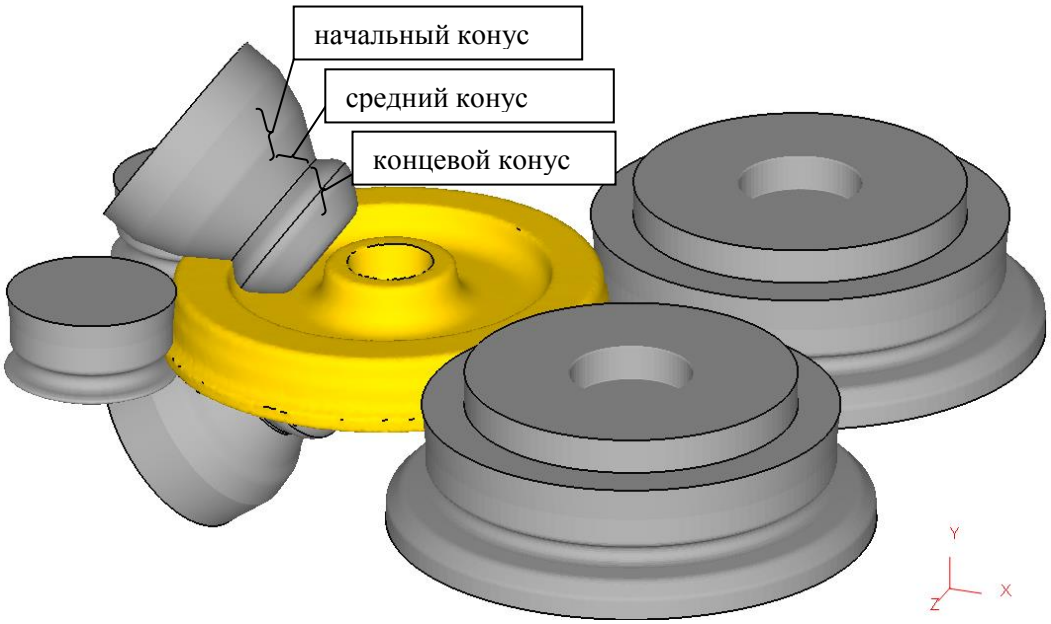
Основной материал исследования

Анализ параметров прокатки железнодорожных колес выполнен на основе результатов конечно-элементного моделирования этого процесса в системе DEFORM-3D с использованием методик и подходов, изложенных в работах [9,15].

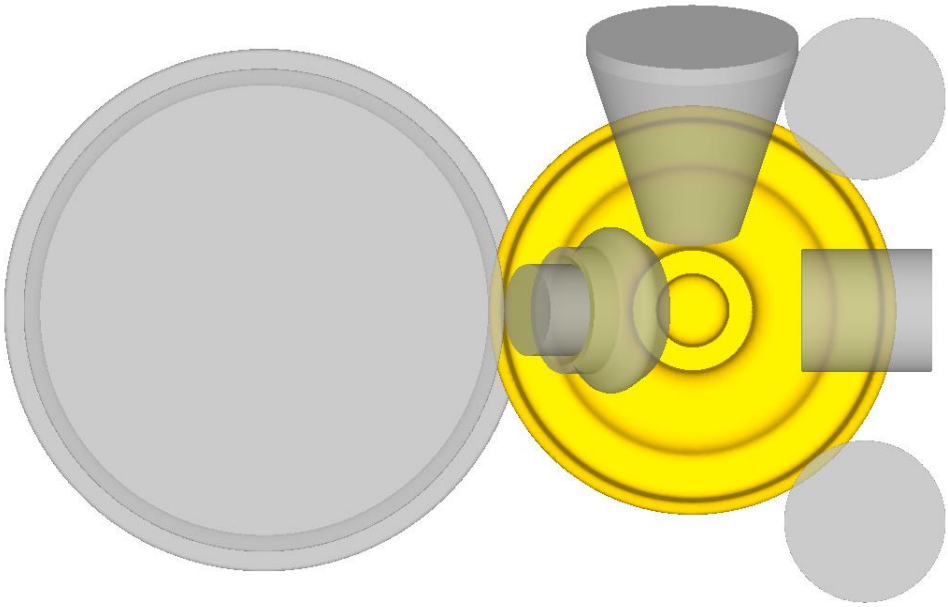
Исследования, выполненные в настоящей работе, основываются также на результатах исследования параметров прокатки, полученных в условиях промышленного производства колес [8,9,16].

При моделировании использовали схемы прокатки колесной заготовки (для колес с плоскоконическим диском Ø957 мм) по существующим на АО «ВМЗ» (рис. 1а) и ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (рис. 1б) технологиям.

Отличительная особенность реализованной в рамках настоящей работы методики конечно-элементного моделирования состоит в том, что воздействия наклонных валков на прокатываемую заготовку задавали через скорости, величины которых определили из условия обеспечения силового режима, полученного в работе [15]. Это позволило, с одной стороны, получить адекватные результаты моделирования (разработанная в работе [15]. Методика моделирования базируется на экспериментальных данных, полученных



а



б

Рис. 1. Схемы прокатки железнодорожного колеса, использованные при моделировании: *а* – на КПС горизонтального типа; *б* – на КПС вертикального типа

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

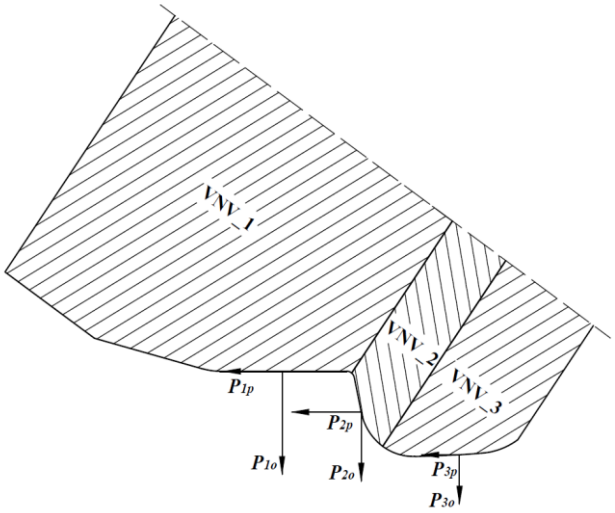


Рис. 2. Схема деления верхнего наклонного валка на части и действующих на них сил: VNV_1 – начальная часть валка; VNV_2 – средняя часть валка; VNV_3 – концевая часть валка; P_{pn}, P_{on} – радиальная и осевая составляющие силы прокатки, соответственно (n=1-3)

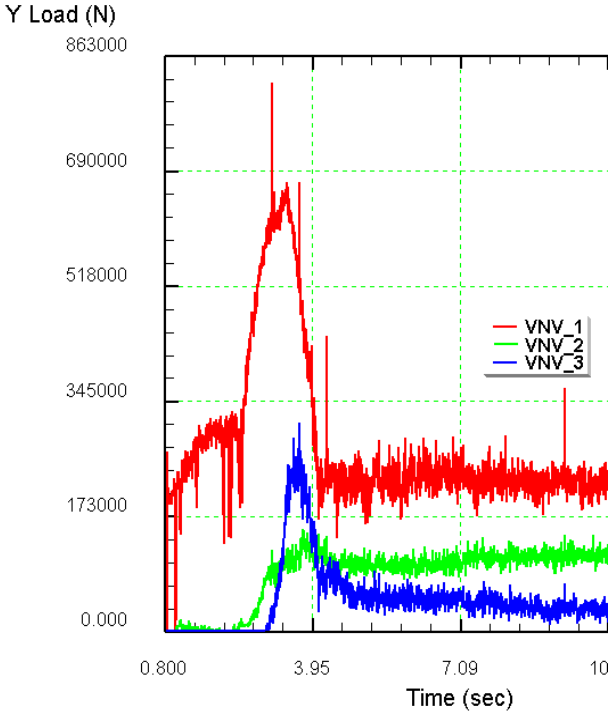
в условиях промышленного производства колес, и прошла соответствующую проверку на адекватность). С другой стороны, в качестве результатов моделирования получены силы и моменты прокатки на наклонных валках, которые были необходимы для дальнейшего анализа.

Кроме того, при моделировании прокатки на КПС горизонтального типа было предусмотрено обжатие диска колесной заготовки на 1 мм. На практике, как правило, указанное обжатие исключают, чтобы не получить дефект «резкий переход по диску». В нашем же случае это позволило оценить величины нагрузок на наклонных валках, которые могут иметь место при обжатии диска колесной заготовки.

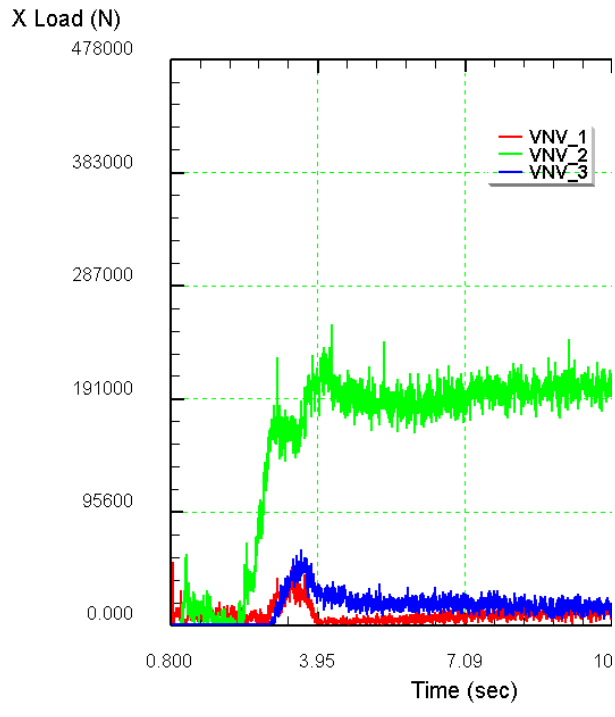
При моделировании верхний наклонный валок состоял из 3-х жестких, недеформируемых частей (рис. 2): начальной части валка (VNV_1), включающей начальный конус (который непосредственно контактирует с деформируемым металлом (см. рис. 1)); средней части валка (VNV_2) – средний конус; концевой части валка (VNV_3) – концевой конус.

Нижний наклонный валок не был разделен на части. Для него при моделировании использовали упругий тип объекта. В качестве материала валка выбрали имеющуюся в библиотеке DFORM-3D сталь AISI-H-13 с соответствующими механическими и теплофизическими характеристиками, зависящими от температуры.

Для колесной заготовки использовали пластическую модель материала с соответствующими кривыми течения, рассчитанными для колесной стали марки 2 (ГОСТ 10791-2011) [15]. Используемые при моделировании теплофизические свойства колесной стали взяли из данных DEFORM 3D для высокоуглеродистой стали.



а



б

Рис. 3. Составляющие силы прокатки на верхнем наклонном валке КПС горизонтального типа: *а* – осевая составляющая; *б* – радиальная составляющая; Y Load (N) – составляющая силы в направлении оси OY, Н; X Load (N) – составляющая силы в направлении оси OX, Н; Time (sec) – время, с

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

Температуру валков и роликов при прокатке задавали постоянной, равной 300 ºС.

Заготовка перед прокаткой имела неравномерное температурное поле в диапазоне 963-1231 ºС для КПС горизонтального типа и 1022-1247 ºС для КПС вертикального типа. Данное распределение температур было получено путем конечно-элементного моделирования многопереходных процессов деформирования заготовок на прессопрокатных линиях АО «ВМЗ» и ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (с учетом транспортировки и междеформационных пауз) в соответствии с существующими технологическими режимами.

Изложенный выше подход к моделированию позволил получить, с одной стороны, радиальные (P_p) и осевые (P_o) составляющие сил, а также моментов прокатки, действующие на наклонные валки на различных стадиях (при различных режимах) прокатки колеса (рис. 3), а с другой – исследовать НДС валков при данных режимах.

Анализ полученных при моделировании результатов расчета силовых параметров прокатки показал следующее.

Для КПС горизонтального типа (см. рис. 3) наиболее высокие значения осевой составляющей силы (P_o=755 кН), а также момента ($M_{пр}$) на всех трех конусах наклонных валков получены в конце стадии осадки обода по ширине, на которой режим прокатки характеризуется отсутствием роста внутреннего диаметра обода. При этом P_p достигает 224 кН, $M_{пр}$ – 40 кН·м.

Такой скачок силы обусловлен тем, что обжимаемый в вертикальном направлении металл стремится течь в увеличение толщины обода, при чем растет не только наружный диаметр обода, но и внутренний, т.к. подпор со стороны нажимных валков на данном этапе незначителен.

Указанная выше схема деформирования металла характерна и для работы КПС вертикального типа на начальной стадии прокатки, когда предусматривают обжатие диска на величину до 3 мм. При этом суммарное осевое обжатие обода не превышает 5 мм [8, 9], однако исходная толщина обода подаваемой на КПС колесной заготовки больше, чем на КПС горизонтального типа.

Таким образом, к концу стадии осадки обода по ширине на КПС горизонтального типа и в начальный момент прокатки заготовки на КПС вертикального типа (после первого оборота заготовки – обжатия диска и разгона приводных двигателей) ободья колесных заготовок имеют близкие геометрические параметры (рис. 4). Далее в обоих случаях следует основная стадия прокатки – раскатка обода по диаметру.

Анализ результатов моделирования показал, что на КПС горизонтального типа на стадии раскатки обода по диаметру, когда режим прокатки характеризуется постоянным нарастанием силы в гидроцилиндре рабочего хода салазок нажимных валков, для обжатия обода по ширине на начальных конусах требуется осевая составляющая силы в 2,5-3 раза меньшая, чем для реализации осадки обода по ширине. Причем на протяжении всей стадии раскатки ее значение практически постоянное (см. рис. 3а), объясняемое постоянной величиной уширения обода.

Аналогичная ситуация по характеру изменения осевых сил наблюдается на всех участках наклонного валка. Причем на рассматриваемой стадии прокатки их можно считать постоянными (см. рис. 3а).

Наиболее высокие значения радиальной составляющей силы прокатки получены на среднем конусе наклонного валка. Полученные значения осевых сил с достаточной степенью точности можно считать постоянными на протяжении практически всей стадии раскатки обода по диаметру (см. рис. 3б).

На стадии раскатки обода по диаметру для КПС горизонтального типа величина P_o достигает 271 кН, P_p – 290 кН, $M_{пр}$ – 36 кН·м.

Расчеты также показали, что и для КПС вертикального типа на стадии раскатки обода по диаметру характерными также являются практически постоянные значения осевой и радиальной составляющих сил прокатки, действующих на наклонные (эджерные) валки (рис. 5).

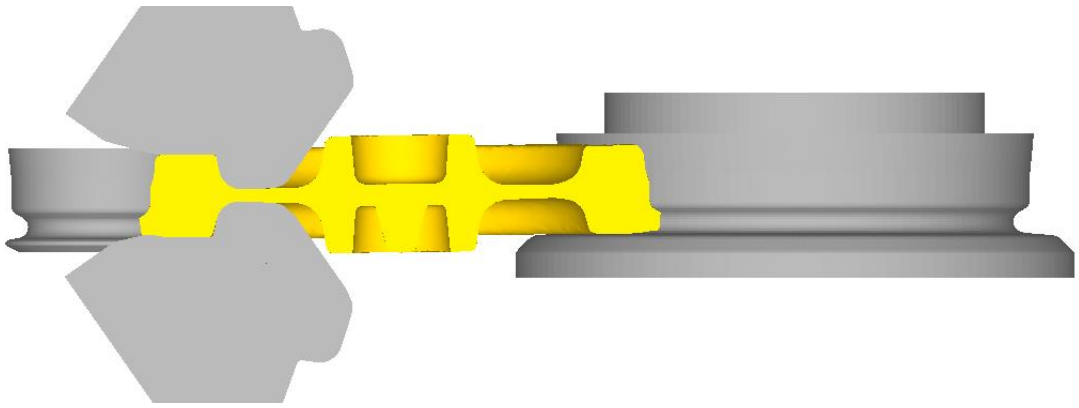
При этом на рассматриваемой основной стадии прокатки силовые параметры достигают максимальных величин: P_o=729 кН, P_p=361 кН, $M_{пр}$=21 кН·м.

Последующие режимы прокатки (после достижения величины внутреннего диаметра колеса ~780 мм), связанные с существенным снижением скорости роста внутреннего диаметра обода, не приводят к повышенным нагрузкам на наклонные валки. Поэтому их анализ в рамках настоящей работы интереса не представляет.

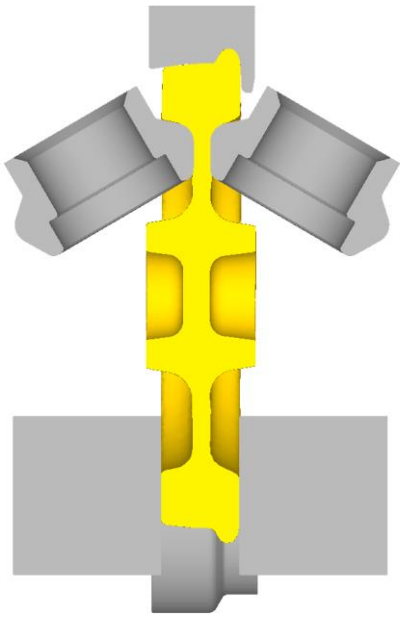
На рис. 6 представлены графики скорости роста внутреннего диаметра колеса при прокатке колесных заготовок для колес с плоскоконическим диском Ø957 мм по существующим на АО «ВМЗ» и ОАО «ЕВРАЗ НТМК» технологиям. Графики построены на основе данных работ [8,16].

Следует отметить, что на практике, при прокатке колеса на КПС вертикального типа между внутренней поверхностью обода и средним конусом наклонного валка предусматривается зазор ~10 мм, а прокатка начинается с обжатия

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

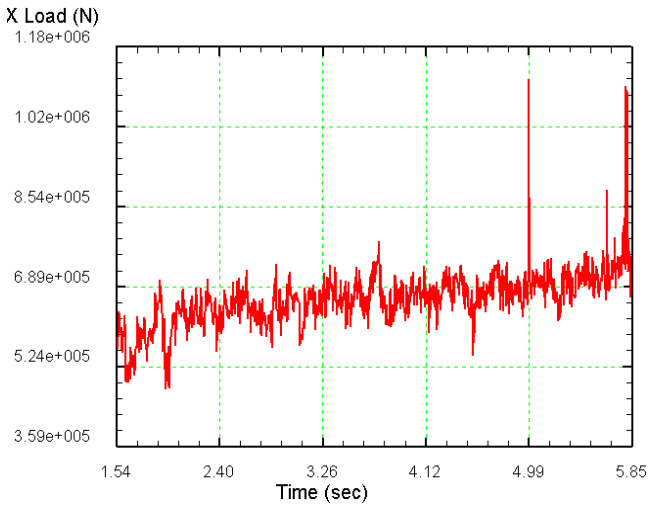


а

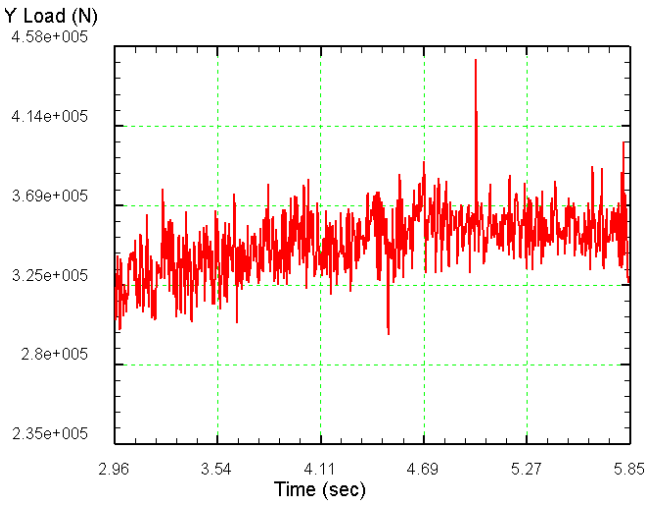


б

Рис. 4. Результаты моделирования формоизменения обода колесной заготовки при прокатке (начальный этап раскатки обода по диаметру):
а – на КПС горизонтального типа; *б* – на КПС вертикального типа



а



б

Рис. 5. Составляющие силы прокатки на наклонном (эджерном) валке КПС вертикального типа на стадии раскатки обода по диаметру: *а* – осевая составляющая; *б* – радиальная составляющая; Y Load (N) – составляющая силы в направлении оси OY, Н; X Load (N) – составляющая силы в направлении оси OX, Н; Time (sec) – время, с

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

металла по диску (без обжатия по внутренним поверхностям обода). Поэтому график начинается с $D_{вн}$=640 мм (см. рис. 6), хотя средний по внутренней и наружной сторонам колеса внутренний диаметр обода колесной заготовки равен 674 мм.

Следует также отметить, что график 2 был получен путем аппроксимации графика приращения внутреннего диаметра колеса [16], начиная со стадии раскатки обода по диаметру, единой гладкой функцией (f=-0,8127t^2+28,803t-97,772). Полученную функцию затем дифференцировали по времени (t) с целью получения массива данных по скорости роста внутреннего диаметра колеса, необходимого для построения соответствующего графика в координатах $V_{вн}$ – $D_{вн}$ (см. рис. 6). В действительности же функция приращения внутреннего диаметра колеса внутри стадии раскатки обода по диаметру на КПС горизонтального типа более близка к линейной [16], то есть величина $V_{вн}$ равна константе.

Анализ работы [16] показывает, что функция приращения силы в гидроцилиндре рабочего хода салазок нажимных валков внутри вышеуказанной стадии прокатки также близка к линейной. То есть скорость роста (или снижения) радиальной составляющей силы прокатки также равна константе.

Аналогичная тенденция на стадии раскатки обода по диаметру имеет место и при прокатке колес на КПС вертикального типа [8,9].

Таким образом, вид функции $V_{вн}$ (см. рис. 6) определяется видом функции скорости роста радиальной составляющей силы, создаваемой на КПС горизонтального типа парой нажимных валков, а на КПС вертикального типа – нажимным валком. Иными словами, обеспечивая наперед заданную зависимость скорости роста радиальной силы на КПС, можно получать для конкретного типоразмера колеса и, соответственно, калибровки (величины раскатки обода по диаметру) наиболее рациональную функцию скорости роста внутреннего диаметра колеса в процессе его прокатки.

Т.к. скорости вращения приводных наклонных валков после разгона приводных двигателей не изменяются, а скорость вращения колеса к концу процесса снижается (вследствие роста диаметра колеса при прокатке), максимальная разнотолщинность обода за один оборот колеса увеличивается. Соответственно, $V_{вн}$ к концу прокатки неизбежно должна снижаться (см. рис. 6).

В общем случае назначаемая величина $V_{вн}$ на основной стадии прокатки должна обеспечить на заключительном этапе прокатки приемлемую (минимальную) разнотолщинность обода за один оборот колеса, которую можно будет устранить на последующей, заключительной, стадии полировки обода. Очевидно, что от используемой величины $V_{вн}$ также будет зависеть и цикл прокатки.

Анализ данных работы [9] и графиков, представленных рис. 6, показывает, что цикл прокатки на КПС вертикального типа в среднем на 30-40 % выше, чем на КПС горизонтального типа. Это связано с тем, что при интенсивной раскатке по диаметру (большой величине $V_{вн}$) также интенсивно увеличивается эксцентричность прокатываемого колеса, которую затем будет проблематично устранять по следующим причинам.

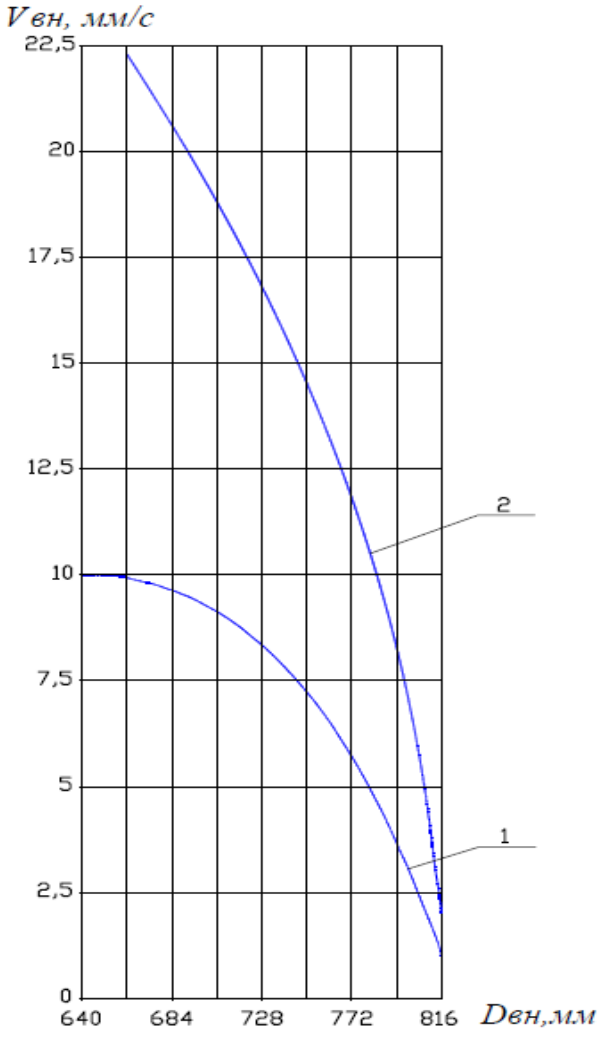


Рис. 6. Графики скорости роста внутреннего диаметра колеса ($V_{вн}$) в зависимости от величины его внутреннего диаметра ($D_{вн}$) при прокатке колесной заготовки для колеса Ø957 мм с плоскоконическим диском: *1* – на КПС вертикального типа (технология ОАО «ЕВРАЗ НТМК»); *2* – на КПС горизонтального типа (технология АО «ВМЗ»)

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

Значительное снижение *Vвн* в конце прокатки (как на КПС горизонтального типа, см. рис. 6, поз. 2) может приводить к пробуксовкам, так как приводные наклонные валки на КПС вертикального типа не выполняют осевое обжатие обода, обеспечивающее дополнительный захват заготовки валками.

По этой же причине, а также по конструктивным особенностям стана на КПС вертикального типа реализовать прокатку в режиме подпора каретки (как на КПС горизонтального типа) невозможно. Вместе с тем использование данного режима, кроме основного его назначения (выкатки гребня при малой величине раскатки обода по внутреннему диаметру), является рациональным на заключительной стадии прокатки с целью стабилизации размеров обода.

Рассмотрим более подробно типовые конструкции наклонных валков, используемых на современных КПС. Они представлены на рис. 7.

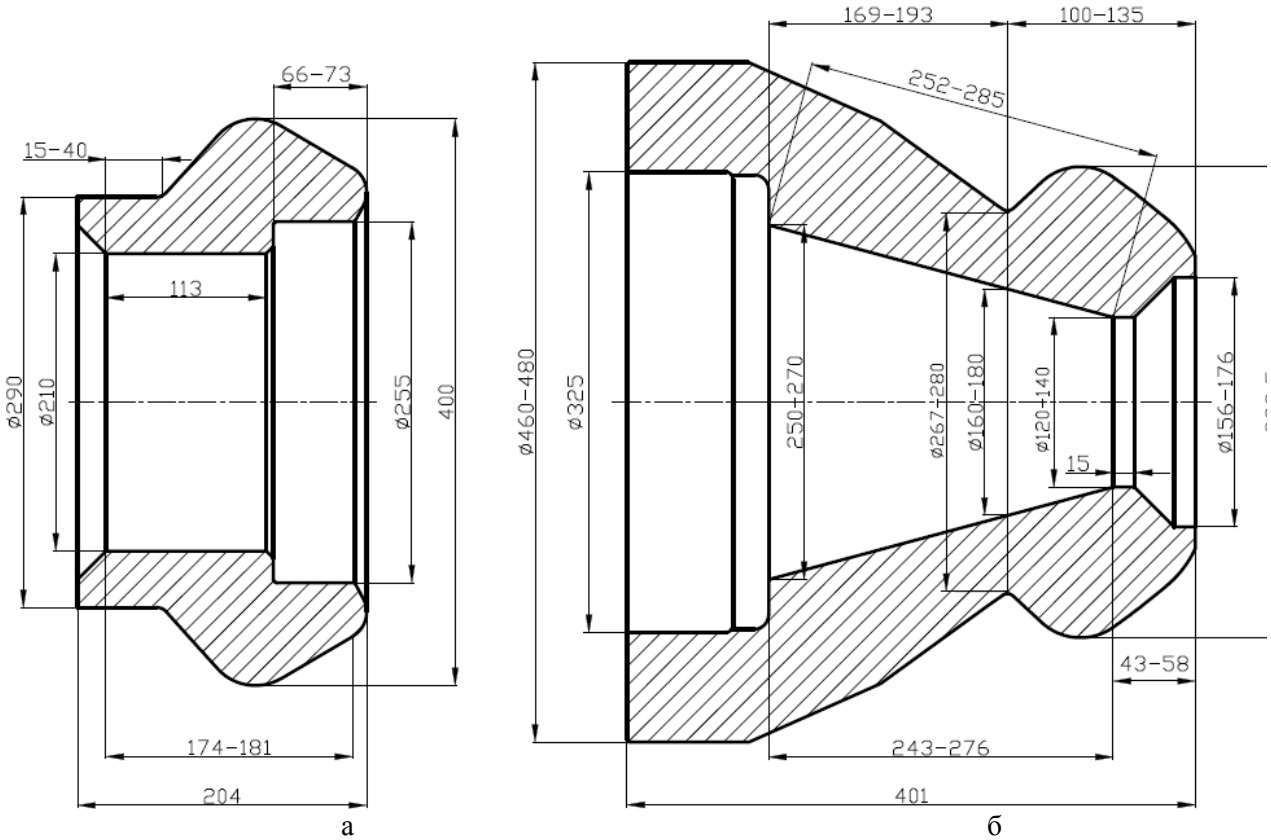
У всех наклонных валков имеется так называемое место «по пережиму», где диаметр валка и, соответственно, толщина бандажа наименьшие. Считается, что вероятность поломки валка в этом месте наибольшая.

Следует отметить, что существенным отличием наклонных валков КПС вертикального типа является отсутствие у них начального конуса валка (на КПС горизонтального типа начальный конус служит для реализации осадки обода по ширине). Следствием этого является существенное уменьшение длины наклонного валка (см. рис. 7) и снижение почти в 2 раза величины плеча и самой изгибающей силы, действующей на наклонный валок при прокатке.

При переточке наклонных валков на КПС вертикального типа (см. рис 7а) диаметр «по пережиму» (Ø290 мм) не изменяется.

При переточке наклонных валков для КПС горизонтального типа (см. рис. 7б) рабочая поверхность смещается вправо в плоскости чертежа, представленного на рис. 7б. При этом уменьшается диаметр валка в «пережиме» с Ø267-280 мм до Ø240-245 мм.

На КПС горизонтального типа при переточке валков уменьшается сумма длин горизонтальных проекций («сумма конусов») среднего и концевого конусов, которая в новом, непереточенном, валке составляет обычно 100-135 мм (см. рис. 7б). При малой «сумме конусов» имеет место локализация эксплуатационных нагрузок на торце вала, имеющего в этом месте наименьший диаметр (Ø120-140 мм, см. рис. 7б). При длительной эксплуатации прокатных валов это приводит к постепенному уменьшению поперечных размеров вала в этом месте и образованию зазора между



а б

Рис. 7. Типовые конструкции наклонных валков КПС:
а – вертикального типа; *б* – горизонтального типа

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

валом и валком, что повышает изгибающие нагрузки в опасном сечении валка и, соответственно, негативным образом отражается на запасе прочности.

Преимуществом конструкции наклонного валка на КПС вертикального типа является то, что (см. рис. 7а) его контактная (посадочная) поверхность с валом имеет цилиндрическую форму. Несмотря на то, что длина пятна контакта (113 мм) значительно меньше аналогичной длины в наклонном валке для КПС горизонтального типа (252-285 мм, см. рис. 7б), диаметр валка (и, соответственно, вала) одинаковый по всей указанной выше длине (Ø210 мм, см. рис. 7а).

У наклонного валка для КПС горизонтального типа поверхность его контакта с валом имеет форму усеченного конуса (см. рис. 7б). При этом начальный диаметр (Ø250-270 мм) значительно больше, чем у наклонного валка для КПС вертикального типа. Вместе тем в опасном сечении наклонного валка (в месте «по пережиму») диаметр существенно меньше (Ø160-180 мм). При максимальной переточке валка его диаметр по внутренней поверхности, соответствующий месту «по пережиму», становится меньше на величину ~20 мм (то есть Ø140-160 мм).

В отличие от КПС горизонтального типа, на КПС вертикального типа практически всегда выполняют обжатие по диску металла, который резервируют в диске в виде его утолщения от ступицы к ободу при штамповке колесной заготовки на формовочном прессе [8]. Данное утолщение диска необходимо, прежде всего, для обеспечения надежного захвата колесной заготовки, придания ей, а также нажимному валку и коническим роликам заданного числа оборотов на начальной стадии прокатки. Кроме того, наклонные валки на современных КПС вертикального типа могут поворачиваться на определенный угол в процессе прокатки [7], обеспечивая при необходимости получение различной толщины диска в прокатанном колесе. Следовательно, для указанного выше режима прокатки колеса на КПС вертикального типа характерны повышенные (в сравнении с прокаткой колеса на КПС горизонтального типа) изгибающие нагрузки на концевые конусы наклонных валков. В то же время, как видно из рис. 7а, концевые конусы наклонных валков на КПС вертикального типа находятся практически за пределами посадочного места валка на валу. Кроме того, толщина стенки валка в зоне концевого конуса меньше, чем в наклонном валке для КПС горизонтального типа (см. рис. 7б), и более интенсивно снижается по направлению к переднему торцу валка.

На основании вышеизложенного можно заключить, что для наклонного (эджерного) валка КПС вертикального типа наиболее вероятным местоположением опасного сечения является зона перехода внутренней поверхности валка с Ø210 мм в Ø255 мм.

Расчет напряженного состояния наклонных валков выполнили с учетом их посадки на валы, которая исключает любые перемещения по внутренней поверхности, имеющей длину 113 мм для валка КПС вертикального типа и 252 мм – для валка КПС горизонтального типа (см. рис. 7).

Как показали результаты расчета (рис. 8), для наклонного валка (после последней переточки) КПС горизонтального типа на стадии осадки обода по ширине (на которой, как было установлено выше, имеют место максимальные значения осевой силы и момента прокатки) имеет место прогиб валка, максимальная величина которого наблюдается в зоне начального конуса и достигает 0,0368 мм (см. рис. 8а). При этом максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу ($\sigma_э$) наблюдаются в зоне начального конуса наклонного валка (см. рис. 8б) и достигают 497 МПа.

Для производства наклонных валков КПС горизонтального типа часто применяют сталь 60ХН, имеющую предел прочности ($\sigma_в$) 680-720 МПа. Таким образом, коэффициент запаса статической прочности ($n_c = \frac{\sigma_в}{\sigma_э}$) в указанной выше зоне валка находится в пределах 1,37-1,45, что существенно ниже 5-кратного запаса, принимаемого обычно при расчетах валков.

Напряженное состояние наклонного валка при максимальных, указанных выше, эксплуатационных нагрузках характеризуется неравномерностью (см. рис. 8в), которая выражается в локализации зоны концентрации повышенных напряжений в месте «по пережиму», где на данном этапе прокатки отсутствует контакт валка с заготовкой. В этой зоне, показанной на рис. 8в желтым цветом, величина средних главных напряжений достигает 20 МПа. Несмотря на то, что данная зона – зона концентрации растягивающих напряжений, величина последних незначительна.

На стадии раскатки обода по диаметру местоположение максимального прогиба валка смещается в зону сопряжения среднего и концевого конусов и достигает 0,036 мм (см. рис. 8г).

При этом максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу по-прежнему наблюдаются в зоне начального конуса наклонного валка (см. рис. 8д) и достигают 532 МПа.

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

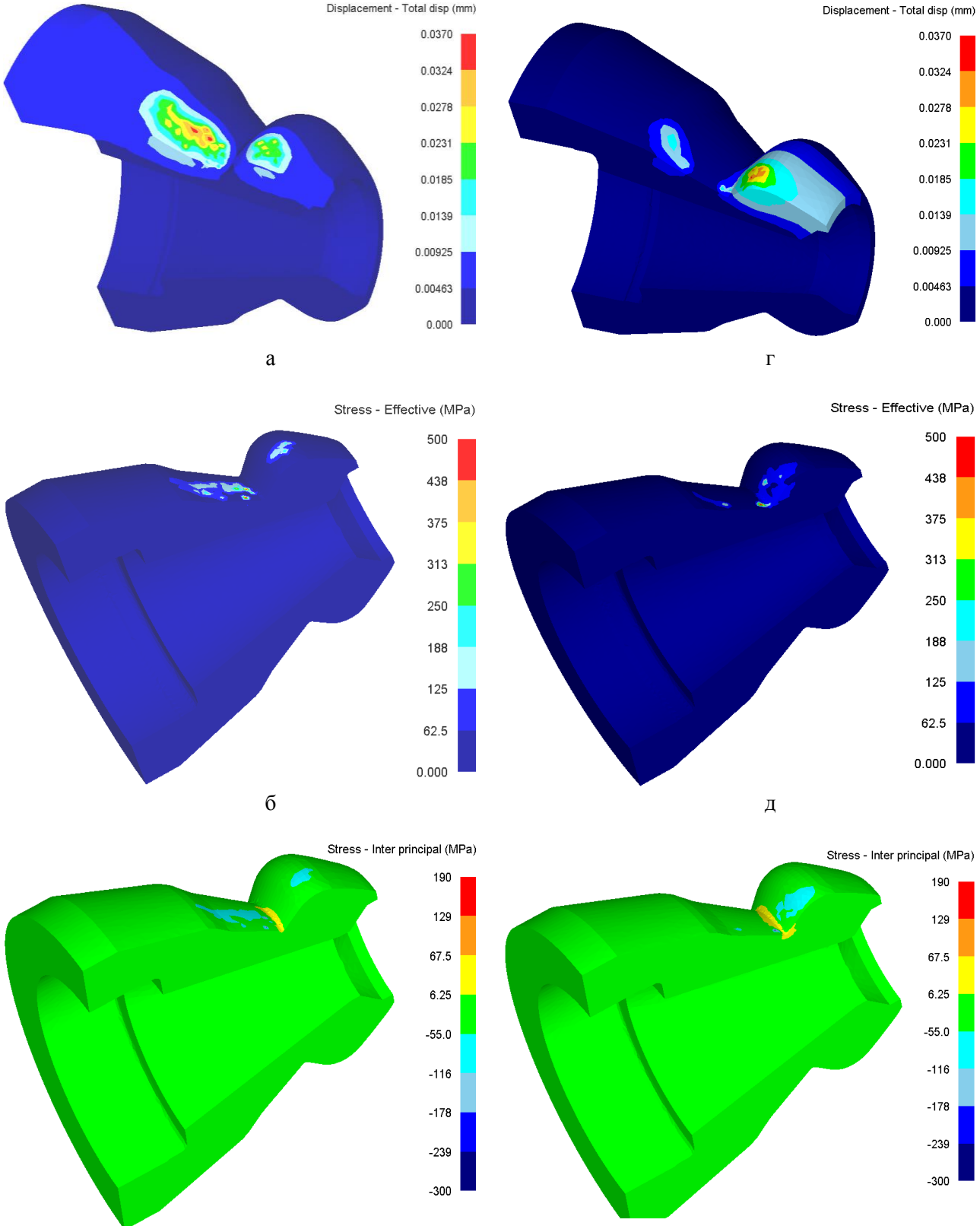
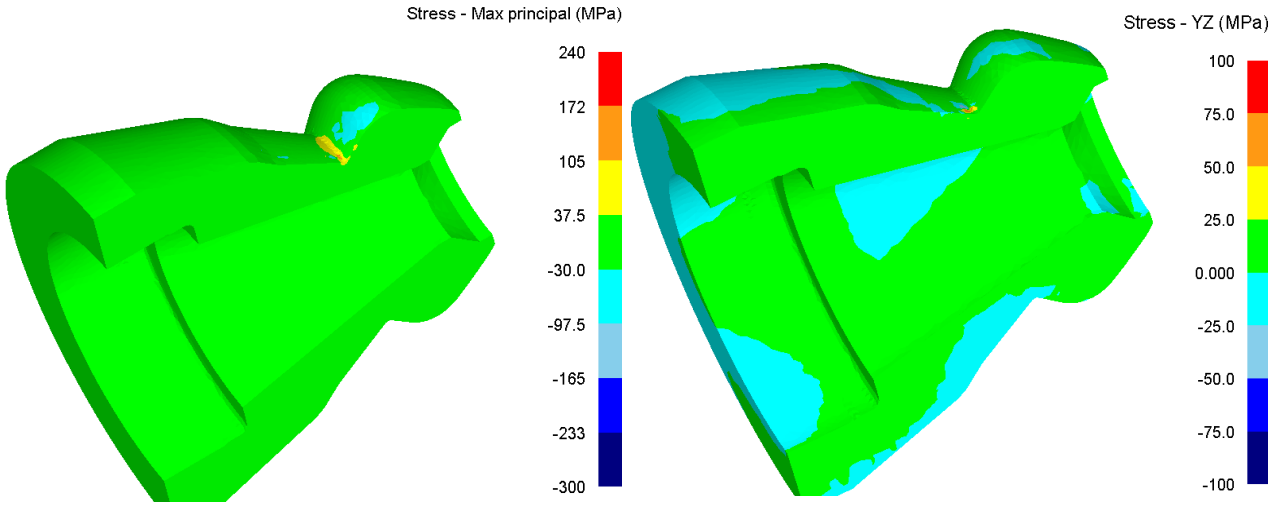


Рис. 8. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния наклонного валка КПС горизонтального типа на стадии осадки обода по ширине (слева) и раскатки обода по диаметру (справа):
а, г – величина прогиба; *б, д* – распределение эквивалентных напряжений по Мизесу;
в, е – распределение средних главных напряжений;
Total disp (mm) – суммарное перемещение, мм;
Stress-Effective (MPa) – эквивалентное напряжение, МПа;
Stress-Inter principal (MPa) – среднее главное напряжение, МПа

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



а б

Рис. 9. Распределение напряжений в наклонном валке КПС горизонтального типа на стадии раскатки обода по диаметру:
а – максимальных главных; *б* – касательных;
Stress-Max principal (MPa) – максимальное главное напряжение, МПа;
Stress-YZ (MPa) – касательное напряжение, МПа

Напряженное состояние наклонного валка на данной стадии прокатки также неравномерно. Зона концентрации повышенных растягивающих напряжений также находится в месте «по пережиму» (см. рис. 8е). В этой зоне, показанной на рис. 8д желтым цветом, величина средних главных напряжений достигает 37 МПа. Хотя их величина и незначительно выше, чем на стадии осадки обода по ширине, но эта зона сосредоточена уже не только на поверхности (см. рис. 8е), а уходит вглубь валка на величину ~5 мм.

Таким образом, с позиций усталостной (циклической) прочности наиболее опасным местом наклонного валка на КПС горизонтального типа является его сечение, расположенное в месте «по пережиму». Расчетные величины действующих в этой зоне максимальных напряжений (рис. 9) равны:

главных напряжений –

$$\sigma_{max}=146 \text{ МПа}, \sigma_{min}=-0{,}14 \text{ МПа};$$

касательных напряжений (кручения) –

$$\tau_{max}=62 \text{ МПа}, \tau_{min}=-0{,}11 \text{ МПа}.$$

Как показали результаты моделирования для наклонного (эджерного) валка КПС вертикального типа (рис. 10), имеет место прогиб торцевой части концевого конуса, максимальная величина которого в валке после последней переточки может достигать 0,56 мм. Прогиб приводит к локализации напряжений, которые рассмотрены ниже.

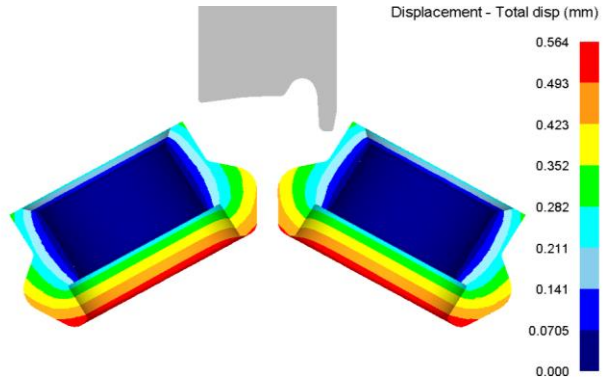
На внутренней поверхности эджерного валка Ø210 мм рядом с фаской, расположенной ближе к переднему торцу валка (см. рис. 10б), показана зона желтого цвета, в которой расчетная величина действующих эквивалентных напряжений по Мизесу ($\sigma_э$) достигает 1700 МПа. Указанная локализация эксплуатационных напряжений приведет к постепенному уменьшению размеров поперечного сечения вала в этом месте, образованию зазора между ним и валком и, соответственно, повышению изгибающих нагрузок в эджерном валке, что негативным образом отразится на запасе его прочности и выносливости.

Рассмотренная зона с позиций статической прочности является наиболее опасным местом эджерного валка. На практике эти валки изготавливают из стали 3Х3М3Ф (либо 5ХНМ) с пределом прочности $\sigma_в$=1600 МПа. Коэффициент запаса статической прочности ($n_c = \frac{\sigma_в}{\sigma_э}$) в указанной выше зоне валка находится в пределах 0,93-0,98, что существенно ниже 5-кратного запаса, принимаемого обычно при расчетах валков.

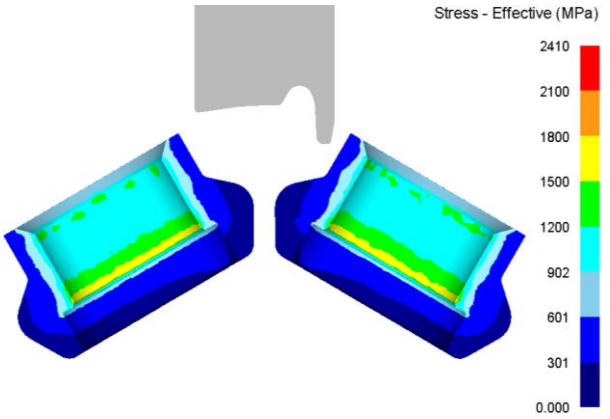
Напряженное состояние эджерных валков при максимальных, указанных выше, эксплуатационных нагрузках характеризуется существенной неравномерностью (см. рис. 10в). Для рабочих (контактных) поверхностей валков характерно наличие напряжений сжатия (до 200 МПа).

Со стороны внутренней поверхности валка также характерно наличие напряжений сжатия. Причем их максимальная величина (по абсолютному значению) достигает 400 МПа и имеет

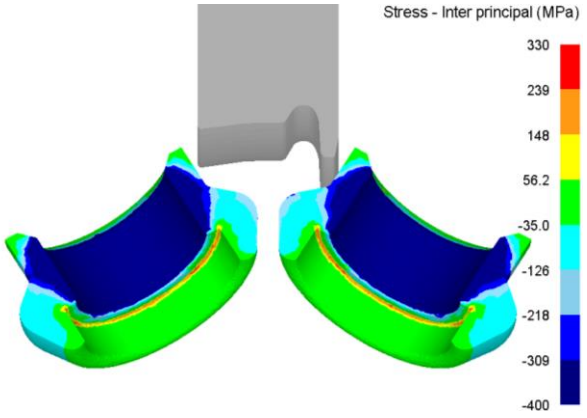
ISSN 2518-1653 (online). Интернет: vestnik.donntu.org



а



б



в

Рис.10. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния наклонного валка КПС вертикального типа на стадии раскатки обода по диаметру: *а* – величина прогиба; *б* – распределение эквивалентных напряжений по Мизесу; *в* – распределение средних главных напряжений; Total disp (mm) – суммарное перемещение, мм; Stress-Effective (MPa) – эквивалентное напряжение, МПа; Stress-Inter principal (MPa) – среднее главное напряжение, МПа

место на посадочной поверхности валка на валу (см. рис. 10в). Минимальные величины напряжений (до 16 МПа) наблюдаются на внутренней поверхности валка, расположенной в зоне концевого конуса.

Анализ НДС эджерных валков на основной стадии прокатки показал, что в сечении валка, соответствующем переходу его внутренней поверхности с Ø210 мм в Ø255 мм (см. рис. 7а), имеет место зона повышенной концентрации напряжений, показанная на рис. 11в красным цветом. Действующие в этой зоне средние главные напряжения – растягивающие. Их величина достигает 320 МПа.

Таким образом, с позиций усталостной (циклической) прочности наиболее опасным местом эджерного валка является его сечение, расположенное на внутренней поверхности валка в зоне перехода Ø210 мм в Ø255 мм. Расчетные величины действующих в этой зоне максимальных напряжений (см. рис. 11) равны:

главных напряжений –

$$\sigma_{max} = 1210 \text{ МПа}, \sigma_{min} = 915 \text{ МПа};$$

касательных напряжений (кручения) –

$$\tau_{max} = -216 \text{ МПа}, \tau_{min} = -431 \text{ МПа}.$$

Таким образом, конечно-элементное моделирование дает расширенное представление о НДС инструмента деформации при действии эксплуатационных нагрузок. Такой подход позволяет учесть неравномерность НДС и концентрацию напряжений в характерных зонах валка и, соответственно, получить более достоверную информацию о коэффициентах запаса прочности валка в опасных сечениях.

Для оценки усталостной прочности (выносливости) валков в определенных выше опасных сечениях использовали методику расчета, приведенную в работе [17].

При совместном действии кручения и изгиба коэффициент запаса усталостной (циклической) прочности валка ($n_ц$) определяли по следующей формуле [17]:

$$n_ц = \frac{R_\sigma \cdot R_\tau}{\sqrt{R_\sigma^2 + R_\tau^2}}, \quad (1)$$

где R_σ и R_τ – частные коэффициенты запаса усталостной прочности, соответственно, по нормальным напряжениям при изгибе и касательным при кручении.

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\left(\frac{K_\sigma}{\beta_{пов} \cdot \varepsilon_\sigma}\sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m\right)}, \quad (2)$$

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

$$R_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\left(\frac{K_\tau}{\beta_{пов} \cdot \varepsilon_\tau}\tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m\right)}, \qquad (3)$$

где σ_a и τ_a – амплитуда цикла напряжений при изгибе и кручении, МПа; σ_m и τ_m – средние напряжения цикла при изгибе и кручении, МПа; ε_σ и ε_τ – масштабные факторы при изгибе и кручении, учитывающие влияние размеров сечения валков; K_σ и K_τ – эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении; ψ_σ и ψ_τ – коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла напряжений; $\beta_{пов}$ – коэффициент качества обработки поверхности; σ_1 и τ_1 – пределы выносливости, соответственно, при изгибе и кручении с симметричным циклом напряжений для гладких образцов.

Значения ψ_σ и ψ_τ в соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [17], принимали для легированных сталей соответственно 0,22 и 0,13.

Величины σ_1 и τ_1 определяли из следующих соотношений [17]:

$$\sigma_1=0{,}5\sigma_в,\ \tau_1=0{,}6\sigma_1, \qquad (4)$$

Значение коэффициента $\beta_{пов}$ при расчетах составляло 0,9.

Значения масштабных факторов и эффективных коэффициентов концентрации напряжений в соответствии с рекомендациями работы [17] были равны:

для валка КПС горизонтального типа – ε_σ=0,55, ε_τ=0,51, K_σ=2,25, K_τ=2,3;

для валка КПС вертикального типа – ε_σ=0,55, ε_τ=0,51, K_σ=2,5, K_τ=2,6.

Величины амплитуд цикла и средних напряжений цикла были определены на основе вышеприведенных результатов конечно-элементного моделирования по следующим формулам:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2},\ \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2},$$
$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2},\ \tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}. \qquad (5)$$

Рассчитанные по формулам (1)-(3) коэффициенты запаса усталостной прочности равны:

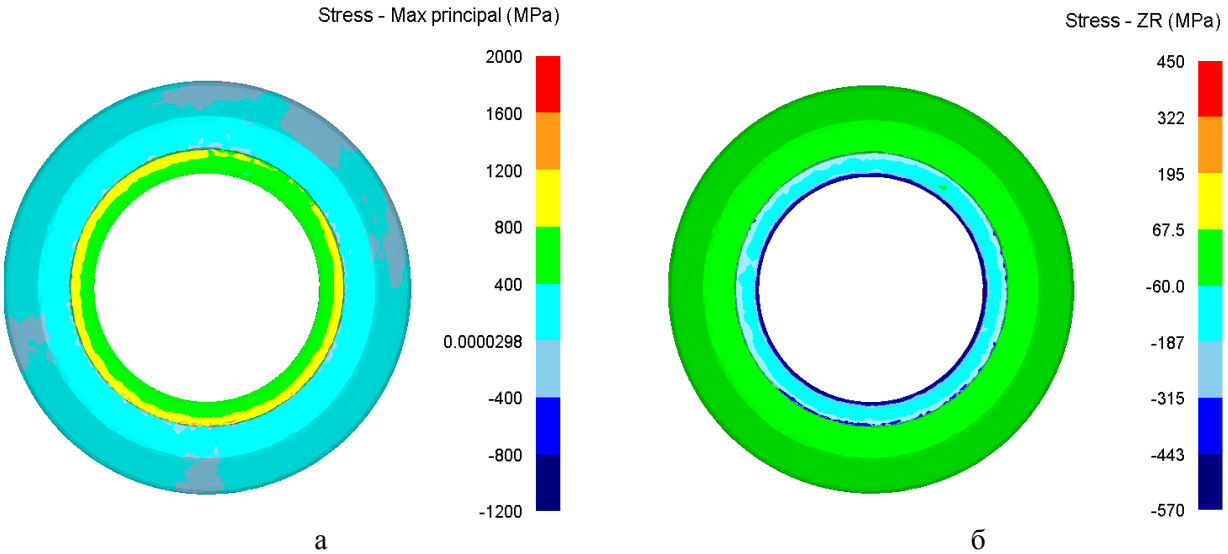
для валка КПС горизонтального типа –

$$R_\sigma = 1{,}01;\ R_\tau = 1{,}32:\ n_ц = 0{,}8;$$

для валка КПС вертикального типа –

$$R_\sigma = 0{,}82;\ R_\tau = 0{,}85:\ n_ц = 0{,}6.$$

Таким образом, при максимальной переточке наклонных (эджерных) валков и максимальных эксплуатационных нагрузках коэффициенты запаса усталостной прочности валков получены ниже допустимых значений (1,3-2,5 [17]). Вместе с тем на практике могут иметь место перегрузки, связанные с пониженной температурой заготовок, разогревом поверхности валков, образованием зазора между валом и валком и биением заготовки в стане (например, при ее асимметричности), которые приведут к поломке валков.



а б

Рис. 11. Распределение напряжений в эджерном валке КПС вертикального типа на стадии раскатки обода по диаметру: *а* – максимальных главных; *б* – касательных; Stress - Max principal (MPa) – максимальное главное напряжение, МПа; Stress - ZR (MPa) – касательное напряжение, МПа

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

Выводы

На основе результатов конечно-элементного моделирования процесса прокатки железнодорожных колес, а также анализа данных, полученных в условиях промышленного производства колес с плоскоконическим диском Ø957 мм на КПС горизонтального и вертикального типов, исследована взаимосвязь режимов прокатки с силовыми нагрузками, напряженным состоянием и коэффициентами запаса прочности наклонных (эджерных) валков.

На основе анализа данных, полученных в условиях промышленного производства колес, установлено, что вид функции скорости роста внутреннего диаметра колеса ($V_{вн}$) аналогичен виду функции скорости роста радиальной силы, создаваемой нажимными валками. Причем на основной стадии прокатки (раскатка обода по диаметру) функция приращения внутреннего диаметра обода близка к линейной, а, соответственно, $V_{вн}=const$. При этом расчетным путем показано, что если $V_{вн}=const$, то осевая и радиальная составляющие силы прокатки на наклонных валках также сохраняют постоянные значения. Это позволяет однозначно определить взаимосвязь режима прокатки с силовыми нагрузками на валках, а также упрощает процесс автоматизации процесса прокатки.

Установлено, что наиболее неблагоприятная схема нагружения и, соответственно, напряженного состояния валков имеет место на основной стадии прокатки, которая характеризуется наиболее высокими значениями $V_{вн}$. При этом, чем выше $V_{вн}$, тем выше радиальная составляющая силы прокатки на средних конусах наклонных (эджерных) валков и, как следствие, больше величины прогибов наклонных валков и ниже запас их прочности и выносливости.

Как показали расчеты, при максимальной переточке наклонных (эджерных) валков и максимальных эксплуатационных нагрузках коэффициенты запаса статической и усталостной прочности валков получены значительно ниже допустимых значений. Поэтому при работе на переточенных валках, для предупреждения их поломки, на основной, наиболее продолжительной, стадии прокатки скорость роста внутреннего диаметра обода колеса целесообразно назначать не более 4-5 мм/с – для КПС вертикального типа и не более 10-11 мм/с – для КПС горизонтального типа.

В ряде случаев снизить нагрузки на эджерные валки КПС вертикального типа можно путем изменения их геометрических параметров, например, за счет уменьшения длины конической части валка.

Также установлено, что режим прокатки, характеризующийся значительной раскаткой по внутреннему диаметру обода (более 100 мм), является нежелательным, так как это приведет либо к увеличению цикла прокатки, либо к повышенному значению $V_{вн}$ на основной стадии прокатки, а, следовательно, – повышению эксплуатационных нагрузок на наклонные валки как на КПС горизонтального типа, так и на КПС вертикального типа.

Длительная раскатка по диаметру, с одной стороны, рациональна, так как приводит к меньшей неравномерности деформации обода в течение одного оборота колеса, а с другой – нежелательна, так как приводит к увеличению цикла прокатки, что имеет место на КПС вертикального типа. Поэтому рациональным для КПС горизонтального и вертикального типов является вариант уменьшения величины раскатки обода по внутреннему диаметру (например, для колес с плоскоконическим диском Ø957 мм на величину 40-50 мм) за счет увеличения диаметра обода штампуемой колесной заготовки и использования схем штамповки, предусматривающих разгонку центральной части заготовки перед ее формовкой в штампах. В этом случае сила штамповки на формовочном прессе не превысит допустимую величину, а цикл прокатки на КПС не увеличится.

Список литературы

1. Шифрин, М.Ю. Резервы производительности и выхода годного при прокатке колес. – М.: Металлургия, 1989. – 144 с.
2. Производство железнодорожных колес / Г.А. Бибик, А.М. Иоффе, А.В. Праздников и др. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
3. О деформированном состоянии металла обода колеса при прокатке на колесопрокатном стане / И.Г. Узлов, Ю.В. Андреев, Г.А. Блажнов и др. // Производство железнодорожных рельсов и колес: Отрасл. сб. научн. тр. – Харьков: УкрНИИМЕТ, 1976. – С. 85-88.
4. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния обода железнодорожного колеса в процессе его осадки / Г.Н. Башилов, Б.М. Беккер, Ю.Д. Макаров, Б.Н. Поляков // Повышение качества железнодорожных рельсов и колес: Отрасл. сб. научн. тр. – Харьков: УкрНИИМЕТ, 1987. – С. 37-42.
5. Снитко, С.А. Влияние режима осевого обжатия на разнотолщинность обода колесной заготовки на начальной стадии ее прокатки / С.А. Снитко, А.В. Яковченко // Металлург. –

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

2017. – № 5. – С. 46-51.
6. Xiao-hui, Shen. Experiment and Simulation of Metal Flow in Multi-stage Forming Process of Railway Wheel / Shen Xiao-hui, Chen Wei, Yan Jun [et al.] // Int. J. of Iron and Steel Research. – 2015. – Vol. 22, Iss. 1. – P. 21-29.
7. Копперс, У. Производство железнодорожных колес на высоком техническом уровне / У. Копперс, М. Кунц, М. Линденблатт // Черные металлы. – 2006. – № 3. – С. 75-79.
8. Новый способ и рациональные режимы прокатки колес / А.В. Кушнарев [и др.] // Сталь. – 2010. – № 3. – С. 58-62.
9. Xiaohui, Shen. Analysis of railway wheel rolling process based on three-dimensional simulation / Shen Xiaohui, Yan Jun, An Tao [et al.] // The Int. J. of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – Vol. 72, Iss. 1. – P. 179-191.
10. Яковченко, А.В. Проектирование профилей и калибровок железнодорожных колес / А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева, Р.А. Голышков // Донецк: Донецкий нац. техн. ун-т, 2008. – 491 с.
11. Снитко, С.А. Теоретические основы автоматизированного проектирования сборочных чертежей валков колесопрокатных станов вертикального типа / С.А. Снитко, А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – № 3(37). – С. 45-50.
12. Прокатка на блюминге / И.Я. Тарновский, Е.В. Пальмов, В.А. Тягунов и др. – Москва: Металлургиздат, 1963. – 390 с.
13. Целиков, А.И. Теория прокатки / А.И. Целиков, А.И. Гришков. – Москва: Металлургия, 1970. – 360 с.
14. Журавлев, Э.Ю. Конечно-элементный анализ наклонного вала колесопрокатного стана / Э.Ю. Журавлев, О.М. Огородникова // Вестник машиностроения. – 2008. – № 9. – С. 3-6.
15. Snitko, S. Features Finite-Element Modeling of the Deformation Exact Mass / S. Snitko, A. Duzhurzhi // J. of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2012. – Vol. 9. No. 9.– P. 1505-1510.
16. Снитко, С.А. Анализ силовых и скоростных параметров прокатки колес // Зб. наук. пр. ДонНТУ. Сер. Металургія. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – Вип. 10 (141). – С. 163–172.
17. Фастыковский, А.Р. Конструкции и расчеты оборудования прокатных клетей сортовых и листовых станов: учеб. пособие; Сибирский гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2008. – 316 с.

S.A. Snitko /Cand.Sci. (Eng.)/, A.V. Yakovchenko /Dr.Sci. (Eng.)/, A.L. Sotnikov /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE RELATIONSHIP OF ROLLING MODES WITH LOADS AND SAFETY MARGIN OF EDGING ROLLS IN HORIZONTAL AND VERTICAL WHEEL-ROLLING MILLS

Background. *The processes of railway wheels rolling are characterized by significant operational loads on the working bodies of wheel-rolling mills. These loads are alternating and uneven, which is associated with a significant unsteadiness of the rolling process. This determines the importance of establishing the relationship of rolling modes with loads and the stress-strain state of the rolls and the urgency of solving scientific and technical problems of increasing the service life of work rolls of wheel-rolling mills by improving modes of rolling.*

Materials and/or methods. *The objective of this paper is to minimize operational loads and increase the safety margin of edging rolls in wheel-rolling mills of horizontal and vertical types due to the implementation of rational modes of rolling of wheel billets, obtained on molding presses.*

Results. *The results obtained of finite-element modeling of stress-strain state of the edging rolls in wheel-rolling mills of the horizontal type under rim compression by width and the results of modeling the stress-strain state of the edging rolls in horizontal and vertical wheel-rolling mills at the stage of rim rolling by diameter. The unevenness of the stress-strain state and the concentration of stresses in specific areas of the roll considered and, therefore, more reliable information about the safety factor of the roll in dangerous cross sections obtained.*

Conclusion. *For wheel-rolling mills of horizontal and vertical types, the relationship of rolling modes with power loads, the stress state and the safety factor of edging rolls studied. Established that rational is the option of reducing the value of rolling the rim by inner diameter (e.g., for wheels with flat conical disk Ø957 mm – by 40-50 mm) due to the increase of the diameter of the wheel rim billet and the use of stamping schemes providing a spreading of the central part of the billet before forming in dies.*

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

Keywords: *horizontal and vertical wheel-rolling mills, modes of rolling, power loads, stress-strain state and safety margin of edging rolls.*

Сведения об авторах

С.А. Снитко
SPIN-код: 8463-3786
Author ID: 844696
Телефон: +380 (50) 473-14-52
Эл. почта: snitko_sa@mail.ru

А.Л. Сотников
SPIN-код: 5203-7480
Author ID: 623331
Телефон: +380 (66) 029-44-30
Эл. почта: 0713019870@mail.ru

А.В. Яковченко
SPIN-код: 1314-1795
Author ID: 850425
Телефон: +380 (50) 995-10-47
Эл. почта: mond1991@mail.ru

Статья поступила 23.11.2017 г.
© С.А. Снитко, А.В. Яковченко, А.Л. Сотников, 2017
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько



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

УДК 62-115

А.Я. Бабанин /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (Макеевка)
М.Ю. Ткачев /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)
В.В. Белоусов /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (Донецк)
Н.В. Паламарчук /д.т.н./
ГОО ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» (Донецк)

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТРАЙБ-АППАРАТА ДЛЯ ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И МЕХАНИЗАЦИИ АРМИРОВАНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Методом математического моделирования выполнен сравнительный анализ динамики растворения порошковой проволоки и ленты в расплаве. Разработана конструкция, выполнен проект и изготовлен трайб-аппарат для обработки расплавов порошковой лентой с высокоактивными реагентами в условиях литейного производства машиностроительных и ремонтно-механических предприятий применительно к производству агрегатов, машин и оборудования повышенного качества. Проведены промышленные испытания трайб-аппарата и разработаны технологии обработки порошковой лентой с алюминиевой стружкой и силикокальцием.

Ключевые слова: *трайб-аппарат, порошковая лента, высокоактивный реагент, литейное производство, детали агрегатов и машин, машиностроительные и ремонтно-механические заводы.*

Постановка проблемы

В настоящее время вопросам оптимизации производственного процесса уделяется значительно больше внимания, чем в недавнем прошлом. Так, если в программах развития производства приоритетная задача определяется в снижении себестоимости выпускаемой продукции и непродуктивного расхода материалов, а также в увеличении ассортимента выпускаемой продукции для расширения ее рынка сбыта, то на практике это означает большее вовлечение механизированного современного оборудования в производственный процесс.

Уже значительное время в большой металлургии для внепечной обработки жидкого металла применяют механизированное оборудование – так называемый трайб-аппарат. Это специальный аппарат, с помощью которого в расплав вводят порошковую проволоку (ПП) с высокоактивными реагентами. При этом обеспечивается решение следующей задачи: доставка высокоактивного реагента с заданным расходом на заданную глубину металла, что достигается заданной скоростью ввода ПП, определяющей единичную массу вводимого реагента, и диаметром ПП, который определяет величину единичной массы доставки [1-5].

Эффективность данной технологии обеспечивается доставкой вводимого компонента вглубь расплава, где он взаимодействует с последним без контакта с воздухом и шлаком. Как правило, ввод ПП осуществляется в разливочные ковши с глубиной металла 3-4 м. При этом продолжительность расплавления оболочки ПП диаметром 13 мм с силикокальцием марки СК-15 при скорости ввода 2-5 м/с и температуре стали 1600-1650 ºС составляет 1,5-2,5 с, а переход наполнителя в расплав происходит на глубине 2-4 м [6].

Данные режимы ввода высокоактивных реагентов большой металлургии являются неприемлемыми для литейного производства. Поэтому создание оборудования для обработки малых объемов жидкого металла для условий литейного производства является решением актуальной проблемы.

Кроме того, в последнее время при производстве бетонных изделий применяется арматура, поставляемая со скоростных прокатных станов преимущественно в виде бухт. Это имеет существенные преимущества при доставке, так как бухты компактны, в отличие от заготовок арматуры с мерной длиной порядка 6,0-12,0 м, и легко транспортируемы в закрытых транспорт-

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

ных средствах, что исключает влияние окружающей среды. Однако применение арматуры в виде бухт обуславливает необходимость создания механического оборудования для ее выравнивания и порезки на мерные длины.

Механическое оборудование для решения данных задач по техническим характеристикам аналогично трайб-аппаратам для ввода порошковой ленты в литейном производстве, что и обуславливает необходимость создания универсальных машин, применяемых как в литейных цехах машиностроительных предприятий, так и при изготовлении железобетонных изделий.

Анализ последних исследований и публикаций

Известно, что ввод порошковой проволоки в малые емкости даже при скоростях 0,2-0,5 м/с приводит к прохождению ею в нерастворенном состоянии всей глубины расплава и достижению днища. Это создает дополнительное сопротивление вводу и может остановить процесс обработки, а также привести к изменению направления движения проволоки, растворению ее в верхних слоях расплава и снижению степени усвоения вводимого компонента [7-8].

Поэтому целесообразно использовать в таких условиях более пластичную порошковую ленту (ПЛ), что позволяет вводить ее с большей скоростью, уменьшить габариты подающих механизмов, снизить мощность приводных двигателей, а также использовать для изготовления имеющиеся малогабаритные станы сварочного производства. Так, в условиях Западно-Сибирского металлургического комбината обработку стали в промежуточном ковше МНЛЗ с глубиной 0,8 м проводят порошковой лентой с силикокальцием [9]. Однако это применимо к большой металлургии, но не к литейному производству машиностроительных и ремонтно-механических предприятий.

Анализ последних исследований и публикаций [10-12] показывает, что известные технические решения по вводу порошковой проволоки и порошковой ленты в расплав имеют существенные недостатки, касающиеся формы профилей роликов, непосредственно реализующих их перемещение и ввод в емкости с жидкой сталью или чугуном. С целью устранения проскальзывания вводимой проволоки или ленты относительно роликов известны попытки установки на внешней поверхности последних бандажей из сетки. Однако, как показывает опыт промышленной эксплуатации трайб-аппаратов, предпринимаемые мероприятия не обеспечивают ожидаемого эффекта.

Также в ходе ознакомления с открытыми источниками научно-технической информации не были выявлены сведения, касающиеся возможности применения устройств, подобных трайб-аппаратам, для выравнивания арматуры и деления ее на мерные длины.

Следует отметить, что разработка машин с резервированием в их конструкции возможности дальнейшей модернизации, повышения производительности, а также возможности применения по второму назначению является одним из основополагающих принципов рационального конструирования [13].

Цель (задачи) исследования

Возрастающие требования к качеству продукции машиностроительных и ремонтно-механических предприятий предполагают применение технологии обработки литейных расплавов (литейных чугунов и сталей) в разливочных ковшах малой емкости с глубиной расплава 0,6-1,2 м для производства деталей агрегатов, машин и оборудования более высокого качества.

Результаты исследований по динамике растворения порошковой проволоки (ленты) в жидкой стали, представленные в работе [6], свидетельствуют о том, что применительно к условиям литейного производства машиностроительных предприятий обработку расплавов высокоактивными реагентами необходимо производить порошковой лентой плоского сечения с малыми скоростями подачи. Это позволит обеспечить доставку высокоактивного реагента в нижние слои металла, чем обеспечить высокую эффективность его использования, и исключить всплывание нерастворившегося реагента на поверхность расплава, снизить его потери и не допустить ухудшения экологической обстановки в цехе. Наряду с тем, что трайб-аппарат для ввода порошковой проволоки/ленты выполняет две основные функции, ее выравнивание также целесообразно.

Использование данных технологий в литейном производстве, то есть обеспечение устойчивой подачи порошковой ленты на малых скоростях ввода, обуславливает необходимость создания соответствующего технологического оборудования. В целом это составляет в настоящее время актуальную научно-техническую задачу. А разработка конструкции трайб-аппарата, которая позволит устранить недостатки известных прототипов и аналогов, а также могла бы быть применима для выравнивания арматуры при изготовлении бетонных изделий, является целью настоящего исследования.

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

Основной материал исследования

Для исследования процессов расплавления порошковой ленты в расплаве ранее сформулированная математическая модель поведения порошковой проволоки, основанная на уравнениях Навье-Стокса, неразрывности, теплопереноса, а также теплофизических процессов в наполнителе и оболочке, была адаптирована к исследованиям поведения порошковой ленты для определения необходимой скорости ее ввода в ковши малой емкости.

Для описания теплофизических процессов, происходящих при вводе порошковой ленты в расплав, предварительно из решения уравнений движения, теплопереноса и граничных условий получены поля скоростей и температур в прилегающей области контакта расплава и порошковой ленты. Процессы, происходящие в ленте и прилегающем слое расплава, описываются следующей системой уравнений:

$$c_{эф}\frac{\partial\theta}{\partial Fo}+(1-\xi)\frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial\theta}{\partial x}-(1-\xi)\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial\theta}{\partial y}=$$
$$=\lambda_{эф}\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}\right); \quad (1)$$

в оболочке ленты и наполнителе:

$$c_{эф}\frac{\partial\theta}{\partial Fo}=\lambda_{эф}\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}\right); \quad (2)$$

где ω и ψ– вихрь и функция тока, соответственно; *x, y* – текущие координаты; $\lambda_{эф}$ – коэффициент теплопроводности расплава; $\theta=\frac{T}{T_0}$ – безразмерная температура; F_O – критерий Фурье.

$$\xi(y)=1-\left(1+\frac{c}{W}(T_1-T_s)\right)\times$$
$$\times\left[1-\left(\frac{T_1-T}{T_1-T_s}\right)^{2/3}\right]+\frac{c}{W}(T_1-T_s), \quad (3)$$

где T – текущая температура расплава; $c=\frac{1-W}{c_{ж}T_0}\frac{\partial\xi}{\partial T}$ – эффективная теплоемкость [2]; $c_{ж}$ – теплоемкость в жидкой фазе расплава; W – скрытая теплота кристаллизации; ξ – доля твердой фазы, которая определяется из правила неравновесного рычага [6], T_1 – температура ликвидус; T_s – температура солидус.

Такая математическая модель оправдана тем, что размеры ковша несоизмеримо больше размеров ленты, поэтому значительного влияния последней на распределение температуры и скорости в ковше не будет.

Система уравнений (1)-(3), замыкается краевыми условиями, как в работе [14].

Результаты математического моделирования растворения ПЛ размером 3,8×18 мм в сравнении с ПП диаметром 13 мм, имеющих толщину оболочки 0,4 мм из стали марки 08 КП и заполненных алюминиевой стружкой, в стали, содержащей 0,3 % С при 1560 ºС в неподвижном состоянии (I) и при движении расплава со скоростью 0,6 м/с при скорости ввода 0,5 м/с (II), представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при аналогичных условиях порошковая лента растворяется быстрее, чем порошковая проволока, на 35-38 %, а движение расплава снижает время растворения как проволоки, так и ленты в среднем на 10-15 %.

На основании анализа выполненных исследований скорости растворения порошковой ленты, а также результатов по изучению условий работы литейных цехов машиностроительных и ремонтно-механических заводов Донбасса применительно к их производству было разработано техническое задание на проектирование трайб-аппарата, в котором определены следующие основные характеристики оборудования:

– небольшие скорости подачи проволоки и ленты;

– компактная конструкция и малая производственная площадь при их установке;

– устойчивая (без пробуксовок) подача проволоки и ленты на малых скоростях с плавной регулировкой и реверсом направления движения;

Табл. 1. Основные параметры растворения порошковой проволоки и ленты с алюминиевой стружкой в жидкой стали

Параметр	I		II	
	ПП	ПЛ	ПП	ПЛ
Время образования «намороженного» слоя, с	0,90	0,53	0,80	0,53
Толщина «намороженного» слоя, мм	1,40	0,10	1,50	0,2
Время расплавления «намороженного» слоя, с	1,60	1,15	1,50	1,50
Время расплавления оболочки, с	4,60	2,92	3,90	2,66
Время расплавления наполнителя, с	2,40	1,50	2,10	1,33

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

– выравнивание проволоки и ленты в тянущей клети.

Трайб-аппарат должен обеспечивать следующие технические параметры:

– размеры порошковой ленты – 16,0-18,0×3,8 мм;

– скорость подачи порошковой ленты – 0,1-1,0 м/с;

– размеры бухты порошковой ленты: диаметр внутренний – 380-390 мм; диаметр наружный – 980 мм;

– масса порошковой ленты в бухте – 50-65 кг;

– источник энергии: переменный ток – 50 Гц; напряжение – 380 В.

По разработанному техническому заданию выполнен проект трайб-аппарата с деталировкой, для чего предварительно были проведены необходимые расчеты его энергосиловых параметров, а также проверены на прочность наиболее ответственные узлы и детали. Трайб-аппарат, согласно проекту, состоит из следующих элементов: разматывающее устройство (индивидуальное для размеров существующих бухт порошковой ленты); подающее устройство (механическое, обеспечивающее стабильную подачу порошковой ленты), которое состоит из механизма подачи ленты, прижимного механизма, узла ввода ленты, электрического и механического приводов, счетчика скорости и длины подаваемой ленты; направляющее устройство (система трубопроводов от трайб-аппарата до ввода ленты в расплав) и пульт управления. Одной из главных отличительных особенностей предложенной конструкции от известных решений является наличие зубчатых венцов на ведущих роликах, позволяющих устранить проскальзывание вводимой порошковой проволоки или ленты во время их ввода.

По данному проекту на ОАО «Торезтвердосплав» был изготовлен трайб-аппарат (рис. 1).

На основании выполненных расчетов для обеспечения устойчивой работы кинематической схемы данной конструкции, обеспечивающей устойчивую подачу порошковой ленты на расстоянии 5-7 м от трайб-аппарата до ввода в расплав со скоростью 0,1-1,0 м/с, были разработаны и введены следующие основные конструктивные элементы:

– электродвигатель постоянного тока со встроенным тахогенератором (380 В, 7,5 кВт, 1500 об/мин), позволяющий реализовать плавную регулировку частоты вращения на малых скоростях подачи ленты;

– цепная передача (цепь ПР-25,4-5670 по ГОСТ 13568-75), обеспечивающая устойчивую подачу ленты (без пробуксовок) на малых скоростях ввода;

– подающий механизм двухклетьевой (межклетьевое расстояние гарантирует выравнивание ленты);

– ролик ведущий (диаметр – 155 мм, материал – сталь 45 по ГОСТ 1050-88, число зубьев по венцу z=153, m=1 мм, нарезка червячной фрезой, термообработка венца – ТВЧ h=0,8-1,2; 40…46 HRC), исключающий пробуксовку при подаче ленты;

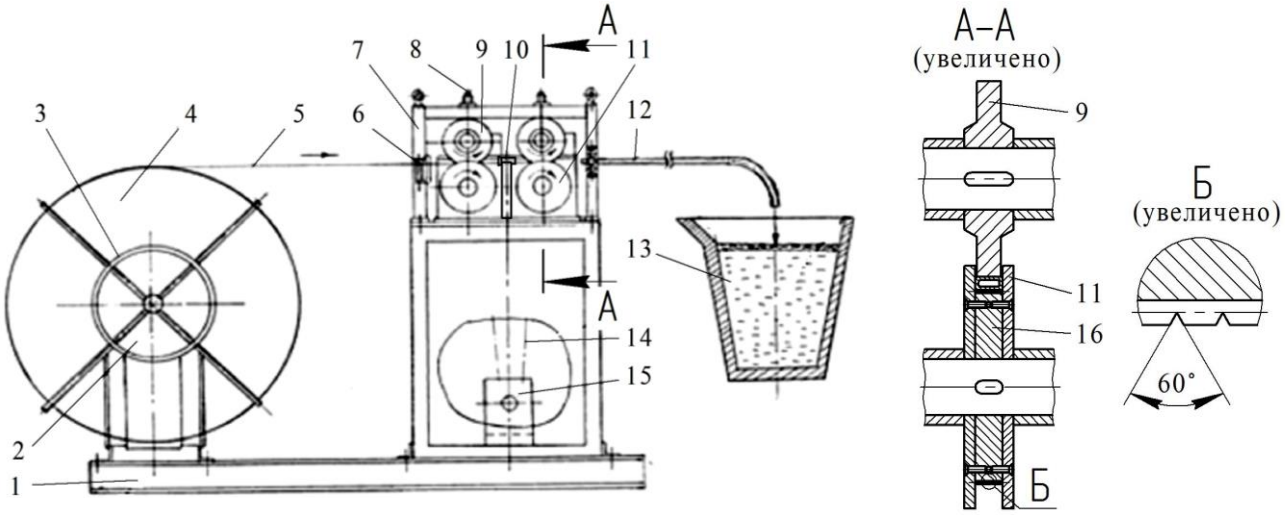


Рис. 1. Конструкция трайб-аппарата ТА-003 (производство ОАО «Торезтвердосплав»):
1 – станина; *2* – разматыватель; *3* – упорное кольцо; *4* – кассета с порошковым раскислителем; *5* – порошковый раскислитель; *6* – направляющая фильера; *7* – тянущая клеть; *8* – регулировочные винты прижатия роликов; *9* – прижимной ролик; *10* – труба для выравнивания; *11* – направляющий фланец; *12* – направляющая труба; *13* – разливочный ковш с металлом; *14* – цепная передача; *15* – электродвигатель; *16* – ведущий ролик

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

Табл. 2. Степень усвоения алюминия из порошковой ленты

Скорость ввода ленты, м/с	Расход ленты, м	Содержание алюминия в стали, %		Степень усвоения алюминия, %
		до ввода ПЛ	после ввода ПЛ	
0,1	12	0,001	0,046	59,9
0,1	9	0,001	0,035	60,3
0,2	10	0,001	0,053	72,4
0,3	8	0,001	0,044	74,8
0,4	14	0,003	0,069	75,2
Среднее значение	10,6	0,0014	0,049	68,5

Табл. 3. Микротвердость сравнительных и опытных образцов чугуна

Удельный расход кальция, кг/т	Микротвердость чугуна, Н/мм^2		Повышение микротвердости чугуна, Н/мм^2
	Сравнительный	Опытный	
0,06	1893	1942	49
0,08	2247	2354	108
0,13	2060	2570	510

– ролик прижимной с двумя направляющими фланцами (диаметр – 160 мм, материал – сталь 45 по ГОСТ 1050-88, термообработка венца – ТВЧ *h*=0,8-1,2; 40…46 HRC), в совокупности с ведущим роликом также исключающий пробуксовку при подаче ленты;

– внутренний диаметр направляющих трубопроводов – 3-32 мм.

Электрическая часть трайб-аппарата состоит из шкафа и пульта управления.

Шкаф управления имеет в составе:

– блок тиристорного управления БТУ – 3601;

– схемы возбуждения двигателя;

– вводный автоматический выключатель;

– схемы включения и остановки электропривода;

– стабилизатор к счетчику оборотов.

Пульт дистанционного управления имеет в составе:

– индикатор оборотов;

– регулятор оборотов;

– схемы пуска и остановки.

Испытание и применение изготовленного трайб-аппарата модели ТА-003 проводили в условиях литейного цеха ОАО «Запорожсталь» при выплавке стали в мартеновской печи емкостью 25 тонн, а также в литейном цехе ООО «Востокуглемаш» на специально созданном стенде внепечной обработки расплавов (СВОР), предназначенном для обработки литейной стали и чугуна порошковой лентой с высокоактивными реагентами в разливочных ковшах малой емкости. Ковш с расплавом на СВОР подавали краном и удерживали на весу во время внепечной обработки. Для обработки литейного чугуна и стали использовали порошковую ленту геометрических размеров 16,5×3,8 мм с различными наполнителями производства ОАО «Торезтвердосплав».

В результате применения данного трайб-аппарата была разработана и внедрена технология раскисления литейной стали порошковой лентой с алюминиевой стружкой в разливочных ковшах емкостью 0,6-0,7 тонны. Опытно-промышленными плавками подтверждено, что рациональная скорость ввода порошковой ленты составляет 0,2-0,4 м/с. Это обеспечивает устойчивую степень усвоения алюминия 72-75 % (табл. 2) и исключает пыле-, газовыделения на поверхности металла.

Отсутствие пироэффекта и газовых выделений свидетельствует, что растворение оболочки и переход алюминия в сталь происходит в нижних слоях расплава, исключив его угар от взаимодействия со шлаком и кислородом воздуха. Степень усвоения алюминия из порошкового раскислителя при его вводе в разливочный ковш емкостью 600 кг со скоростью 0,2-0,5 м/с находится в диапазоне 60-75 % при среднем значении 68 %. Раскисление стали порошковым раскислителем при обеспечении заданного содержания алюминия приводит к уменьшению усадочной рыхлости и снижению в ней количества грубых шлаковых включений. Количество в стали, раскисленной порошковым раскислителем, единичных алюминатов значительно меньше, чем в раскисленной первичным алюминием. Снижение затрат на раскисление 1 тонны литейной стали составляет 1,0-1,2 грн/т [15].

Разработана и внедрена технология обработки литейного чугуна порошковой лентой с силикокальцием. Увеличение удельного расхода кальция на обработку чугуна приводит к увеличению количества графита, перешедшего из пластинчатой формы в вермикулярную, и повышению его микротвердости. Причем с увеличением удельного расхода микротвердость увеличивается, и при среднем удельном расходе кальция 0,13 кг/т увеличение микротвердости составляет 491-540 Н/мм^2 (табл. 3).

В сравнительных образцах чугуна включения графита имеют значительные размеры и неравномерно распределены по площади образца с образованием междендритных колоний. В опытном металле наблюдается более равномерное распределение включений графита как по площади

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

образца, так и по площади дендритов и уменьшение их длины с 25-50 до 1,5-3,0 мкм. Наиболее характерные распределения включений графита в сером чугуне марок СЧ20-25 (ГОСТ 1412-85) с увеличением в 200 и 75 крат представлены на рис. 2.

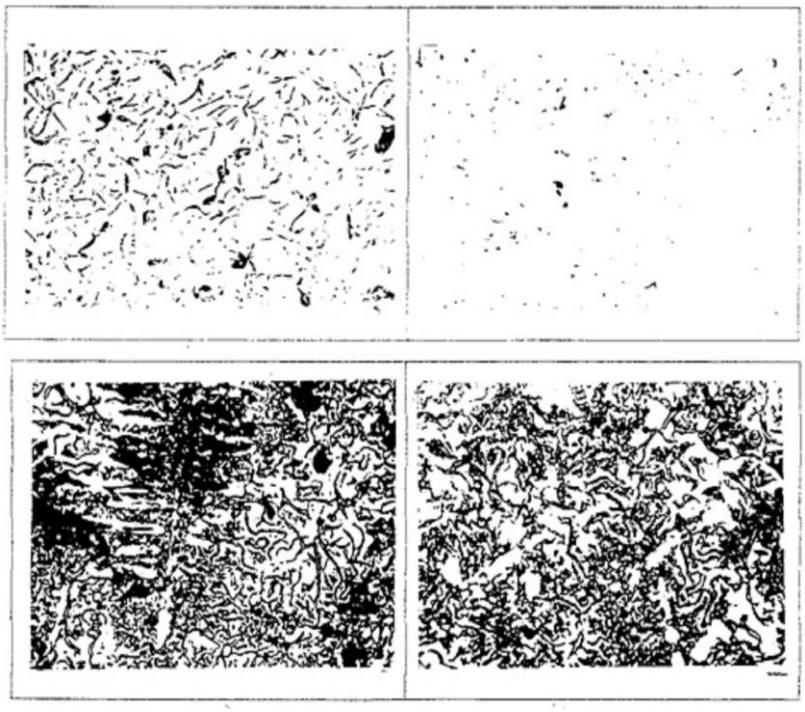
Кроме того, данный трайб-аппарат модели ТА-003 прошел промышленные испытания в рамках установки для выравнивания и деления арматуры на мерные длины класса А-11 из стали марки Ст 5 сп диаметром 6,0-8,0 мм производства Макеевского металлургического завода. Работы были проведены в условиях ООО «Востокуглемаш» при выполнении бетонных работ и изготовлении бетонных изделий для нужд предприятия.

Установлено, что данная конструкция трайб-аппарата позволяет выравнивать арматуру диаметром 6,0-8,0 мм, смотанную в бухты, с мерным ее делением на заданную длину протяжкой через тянущую клеть. Трайб-аппарат работает устойчиво, без пробуксовок. Результаты свидетельствуют, что данная конструкция трайб-аппарата может быть использована для подачи монолитной алюминиевой проволоки для внепечной обработки литейной стали.

Выводы

Применительно к условиям работы литейного производства машиностроительных и ремонтно-механических предприятий выполнен проект и изготовлен трайб-аппарат для обработки литейной стали и чугуна порошковой лентой с высокоактивными реагентами в разливочных ковшах малой емкости. Особенностями данной конструкции трайб-аппарата, обеспечивающего устойчивую подачу порошковой ленты на малых скоростях ввода (без ее пробуксовки), является применение двухклетьевого механизма подачи ленты с механизмом прижима и зубчатыми ведущими роликами, цепной передачи крутящего момента, электродвигателя с плавной регулировкой скорости вращения и реверсом. Трайб-аппарат позволяет производить подачу порошковой ленты со скоростью 0,1-1,0 м/с на расстоянии 5-7 м, контролировать скорость ввода и длину порошковой ленты, управляется дистанционно и стационарно и соответствует мировому уровню данного оборудования. Трайб-аппарат модели ТА-003 изготовлен на ОАО «Торезтвердосплав», прошел промышленные испытания и применялся в литейном производстве ООО «Востокуглемаш» для осуществления следующих технологических процессов:

– раскисление литейной стали порошковой лентой с отсевами алюминиевой стружки (технология прямой регенерации алюминия из вторичного сырья непосредственно в жидкую сталь), что позволяет обеспечить степень усвоения алюминия в 2-2,5 раза выше, чем при использовании чушкового алюминия, и снижает материальные затраты на 30-50 %;



а б

Рис. 2. Характерный вид распределения включений графита (верхнее фото, ×75) и микроструктура (нижнее фото, ×200) сравнительного – *а* и опытного – *б* образцов чугуна

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

– обработка литейной стали порошковой лентой с силикокальцием марки СК-30 позволяет обеспечить более глубокое ее раскисление, приводит к снижению пористости и микротрещин металла, что в совокупности способствует повышению механических свойств готовых изделий примерно на 10-15 % при остаточном содержании 0,0010 %;

– обработка литейного чугуна порошковой лентой с силикокальцием марки СК-30 при удельном расходе кальция 0,13 кг/т позволяет обеспечить степень десульфурации металла порядка 10 %, перевести включения графита на 60-80 % из пластинчатой формы в вермикулярную, уменьшить их размер, улучшить равномерность их распределения как по площади образца, так и по площади дендритов, повысить микротвердость на 50-55 кг/мм^2.

Данный трайб-аппарат положительно прошел испытания на выравнивание арматурной проволоки диаметром 5,5-8,0 мм при производстве бетонных изделий.

Список литературы

1. Зинченко, В.Г. Внепечная обработка валковой стали комплексными модификаторами / В.Г. Зинченко, И.В. Судоргин // Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XII Межд. конф., 4-5 ноября, 2004 г., Челябинск.– Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – С. 127-128.
2. Современные методы ввода модификаторов в расплавы чугуна и стали / В.И. Жучков [и др.] // Литейный консилиум №1 «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей»: сб. докладов, 5-8 декабря, 2005. – Челябинск: ИЦМ, 2005. – С. 49-52.
3. Модифицирование расплавов стали порошковой проволокой с новыми наполнителями / В.Я. Гольдштейн [и др.] // Литейщик России. – 2016. – № 6. – С. 34-38.
4. Золотухин, В.И. Современное оборудование для производства порошковой проволоки и новые технические решения по ее вводу в расплав металла / В.И. Золотухин, А.Г. Головко, Д.А. Провоторов // Черная металлургия. – 2015. – № 8. – С. 79-84.
5. Современные сталеразливочные системы для литейных и машиностроительных производств / В.И. Золотухин [и др.] // Литейщик России. – 2016. – № 9. – С. 15-17.
6. Дюдкин, Д.А. Динамика растворения порошковой проволоки (ленты) в жидкой стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Паренчук, А.Я. Бабанин // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2006. – № 1. – С. 24-25.
7. Дюдкин, Д.А. О перспективах повышения качества металла на Украине / Д.А. Дюдкин, В.С. Харахулах // Металл и литье Украины. – 1999. – № 13-14. – С. 5-7.
8. Особенности поведения порошковых проволок с различными наполнителями в металлургических расплавах / В.П. Онищук [и др.] // Металл и литье Украины. – 1999. – № 13-14. – С. 38-39.
9. Айзатулов, Р.С. Обработка стали порошковой лентой в промежуточном ковше МНЛЗ / Р.С. Айзатулов, И.Н. Слободинский // Сталь. – 1996. – № 4. – С. 30-31.
10. Patent 115561 USA, C21C1/10, C21C7/00, C22B9/10, F27B14/10, F27D3/00. Method and device for treating a metal or a molten metal alloy using an addition agent / T. Mourad, France. №201414896634; filed 06.06.2014; date of patent 28.04.2016. – 12 p.
11. Patent 106086304 China, C21C7/00, C21C7/10. Wire feeding device and wire feeding method for RH refining furnace / X. Huazhen, L. Dongsheng, Z. Zhijiang, P. Xudong, L. Hai, China. № 20161620440; filed 02.08.2016; date of patent 09.11.2016. – 5 p.
12. Patent 205803526 China, C21C7/00. Molten iron modification equipment / J. Yuangui, L. Hong, L. Cheng, C. Sen, Z. Hu, China. № 20162627869; filed 23.06.2016; date of patent 14.12.2016. – 5 p.
13. Орлов, П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. – Москва: Машиностроение, 1977. – 623 с.
14. Особенности растворения порошковой ленты с алюминиевой стружкой в жидкой стали / В.В. Паренчук [и др.] // Тепло-массообменные процессы в металлургических системах: материалы VI межд. научн.-техн. конф., 7-9 сентября, 2000 г., Мариуполь. – Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2000. – С. 214-217.
15. Бабанин, А.Я. Раскисление литейной стали порошковым раскислителем / А.Я. Бабанин, В.В. Паренчук, Л.А. Позняк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 26-28.

A.Ya. Babanin /Dr. Sci. (Eng.)/
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (Makeyevka)
M.Yu. Tkachev /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)
V.V. Belousov /Dr. Sci. (Eng.)/

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

Donetsk National University (Donetsk)
N.V. Palamarchuk /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk Railway Transport Institute (Donetsk)

DESIGN FEATURES OF THE WIRE-FEEDING MACHINE FOR FEEDING FILLER WIRE IN FOUNDRY AND MECHANIZATION OF CONCRETE PRODUCTS REINFORCING

Background. *For ladle treatment of steel by cored wire with highly active reagents, the wire feeding machine designed and the production of cored wire with various fillers mastered. The cored wire input in casting ladles at great speed (2-5 m/s) and depth of metal (3-4 m), and the transition of filler into the melt, depending on the input speed and the temperature of the metal, occurs at a depth of 2-4 m. These input modes of highly active reagents are inappropriate for the foundry. The cored wire input into small containers even at speeds of 0.2-0.5 m/s went undissolved throughout the depth of the melt and reached the bottom. This creates additional resistance to the input and can stop the treatment process and change the direction of the wire, its dissolution in the upper layers of the melt and reduce the degree of assimilation of the input component. Therefore, the design of the wire-feeding machine is a topical scientific-technical task of engineering.*
Materials and/or methods. *For the comparative assessment of processes of melting of cored wire and filler wire in the melt, the previously formulated mathematical model of the behavior of cored wire adapted to the study of the behavior of filler wire. The major assemblies, components, and materials for the manufacture designed on the basis of the calculations with the application of fundamental provisions of theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines.*
Results. *Applied to the working conditions of the foundry designed and manufactured the wire- feeding machine for foundry steel and iron treatment by filler wire with highly active reagents in casting ladles of small capacity. The design features are the application of a two-cage feeder with a filler wire clamp mechanism and toothed guide rollers, chain drives, electric motor with continuously adjustable speed and reverse. The wire-feeding machine allows feeding the filler wire at a speed of 0.1-1.0 m/s and a distance of 5-7 m, controlling the input speed and the length of the filler wire, and remote and stationary control of feeding.*
Conclusion. *The results of the work allow filling the gap in domestic methodology for designing non-standard equipment and ensuring industrial application of the technology of ladle treatment of melts in foundries of mechanical engineering and repair plants. The proposed scheme of the wire-feeding machine ensures full mechanization and automation of ladle treatment of casting melts by a filler wire with highly active reagents. JSC "Toreztverdosplav" has mastered serial production of wire-feeding machines of this design.*

Keywords: *wire-feeding machine, filler wire, highly active reagent, foundries, parts of machines, machinery, mechanical engineering and repair plants*.

Сведения об авторах

А.Я. Бабанин
Scopus ID: 25928278900
Телефон: +380 (62) 22-74-71
Эл. почта: Bay1957@mail.ua

В.В. Белоусов
Scopus ID: 25928177100
Телефон: +380 (62) 302-92-88
Эл. почта: v.v.bilousov@gmail.com, fnpme@list.ru

М.Ю. Ткачев
SPIN-код: 9855-0447
Scopus ID: 57189358257
Orcid ID: 0000-0001-5795-9595
Телефон: +380 (62) 301-08-39
Эл. почта: mishel-tkachev@ya.ru

Н.В. Паламарчук
Телефон: +380 (62) 319-21-76
Эл. почта: institut-transporta@mail.ru

Статья поступила 08.12.2017 г.
© А.Я. Бабанин, М.Ю. Ткачев, В.В. Белоусов, Н.В. Паламарчук, 2017
Рецензент д.т.н., доц. Н.А. Ченцов

УДК 622.6:519.87

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАГОНЕТКИ ТОЛКАТЕЛЕМ С ЛИНЕЙНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проанализированы основные проблемы, возникающие при эксплуатации средств механизации при обмене и откатке вагонеток. В качестве альтернативы предложено использование в технологических схемах обмена и откатки вагонеток в надшахтных зданиях толкателей с линейными индукционными двигателями. Сформулированы цели и задачи проводимых исследований. Составлена математическая модель для исследования процесса перемещения вагонетки толкателем с линейным индукционным двигателем при механическом контакте кулака-толкателя и вагонетки. Проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: *линейные индукционные двигатели, вагонетка, скорость, перемещение, ускорение, математическая модель.*

Постановка проблемы

Развитие шахтного транспорта осуществляется путем усовершенствования существующих транспортных машин, а также путем создания транспортных установок, основанных на новых принципах действия. Одним из наиболее трудоемких процессов шахтного транспорта является обмен вагонеток в клетях и опрокидывателях. Основной причиной низкой эффективности механизации этих процессов является несовершенство и низкая надежность работы оборудования, применяемого в схемах откатки. Управлением и ремонтом этого оборудования занят большой штат обслуживающего персонала, кроме того, большое число рабочих занято ручным трудом при проталкивании и торможении вагонеток.

Одним из основных средств механизации при обмене и откатке вагонеток являются толкатели. В настоящее время в эксплуатации находится большое количество типоразмеров различных толкателей. Большинству из них присущи такие недостатки: большие динамические нагрузки при работе, малая надежность работы отдельных узлов, трудность или невозможность обмена вагонеток с автосцепками.

Технологические схемы обмена и откатки вагонеток в надшахтных зданиях для действующих и реконструируемых шахт предусматривают возможность работы толкателей как при вагонетках с глухим кузовом, так и при вагонетках с откидными днищами.

Разработанные Центрогипрошахтом, ДонУгИ и ДонНТУ технологические схемы предусматривают использование толкателей с линейным индукционным приводом. Поэтому в настоящее время наряду с усовершенствованием существующих механизмов ведутся работы по созданию средств шахтного транспорта на базе современных достижений науки и техники. Так, принцип бегущего магнитного поля позволяет получить поступательное движение с помощью линейного индукционного привода. В связи с этим исследования толкателей с линейными индукционными двигателями (ЛИД) для обмена вагонеток являются своевременными и актуальными. Наличие нежесткой электромагнитной связи между исполнительным органом и приводной системой в таких толкателях обуславливает надежную защиту от экстренных нагрузок и ударов. Простота конструкции обеспечивает возможность получения переменного хода кулака при сложном профиле пути с заходом толкающей тележки в клеть и опрокидыватель.

Анализ последних исследований и публикаций

В существующих средствах обмена и откатки вагонеток передача тягового усилия исполнительному органу осуществляется трением, зацеплением. Такие механизмы имеют существенные недостатки, на которые указано выше. В последнее время выполнены исследования, позволившие установить, что большая часть повреждений вагонеток происходит из-за воздействия значительных динамических нагрузок, возникающих при перемещении и торможении шахтных вагонеток [1,2].

Линейные индукционные электродвигатели применяются там, где они упрощают конструк-

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

цию, повышают производительность машин и оборудования, или в тех случаях, когда использование ротационных электродвигателей по их характеристикам невозможно. Применение линейных индукционных электродвигателей наиболее перспективно в промышленном и пассажирском транспорте. В конвейерных поездах индукторы электропривода расположены вдоль рельсового пути, вторичный элемент электродвигателя находится на подвижном составе. Такие поезда удобны при транспортировке угля, руды и строительных материалов. На примере системы городского эстакадного пассажирского транспорта показан другой вариант исполнения линейного электродвигателя, где вторичный элемент установлен вдоль пути в виде токопроводящей вертикальной полосы. А индукторы установлены в движущемся вагоне. Линейные индукционные электродвигатели широко применяются в приводах различных исполнительных механизмов и устройств. Линейные машины находят широкое применение в различных областях производства, таких как привод конвейеров и подъемно-транспортных машин, перекачка жидких металлов, устройства упорного действия, испытательные установки, рельсовая откатка в горнодобывающей промышленности и т. д. Простота их конструкции и высокая надежность позволяют снизить эксплуатационные расходы в сравнении с традиционными системами привода. Линейные индукционные электродвигатели дают непосредственное прямолинейное движение, поэтому разработки в области линейного электропривода ведутся в различных странах мира – США, Японии, Великобритании, Франции, Германии, Канаде, России, Польше и в Донбассе [3-9].

Цель (задачи) исследования

Целью работы является определение кинематических параметров взаимодействия линейных индукционных двигателей с подвижным составом рельсового транспорта, главным образом на поверхности шахт, и разработка на этой основе средств перемещения шахтных вагонеток.

Для достижения этой цели была поставлена следующая задача: провести теоретические исследования процесса перемещения шахтных вагонеток при использовании в качестве исполнительного органа толкающей тележки, снабженной кулаком и приводом с ЛИД.

Основной материал исследования

Толкатели с ЛИД могут выполняться по двум принципиальным схемам: с подвижным индуктором, установленным на толкающей тележке, и неподвижным ротором; со стационарным индуктором, закрепленным между рельсами, и гибким подвижным ротором, размещенным на толкающей тележке.

В настоящей работе в качестве примера приведены теоретические исследования по определению кинематических параметров перемещения шахтной вагонетки ВГ-3,3 при ее заталкивании в клеть толкателем с подвижным индуктором, установленным на толкающей тележке, и неподвижным ротором.

На рисунке 1 показано исходное положение вагонетки 1 и толкателя, состоящего из двух горизонтально-сочлененных индукторов 3 и 4. При этом вагонетка находится на стопорах 2 горизонтального предклетьевого участка 5. В процессе движения вагонетка и толкатель преодолевают качающуюся площадку 6 и заходят в клеть 7.

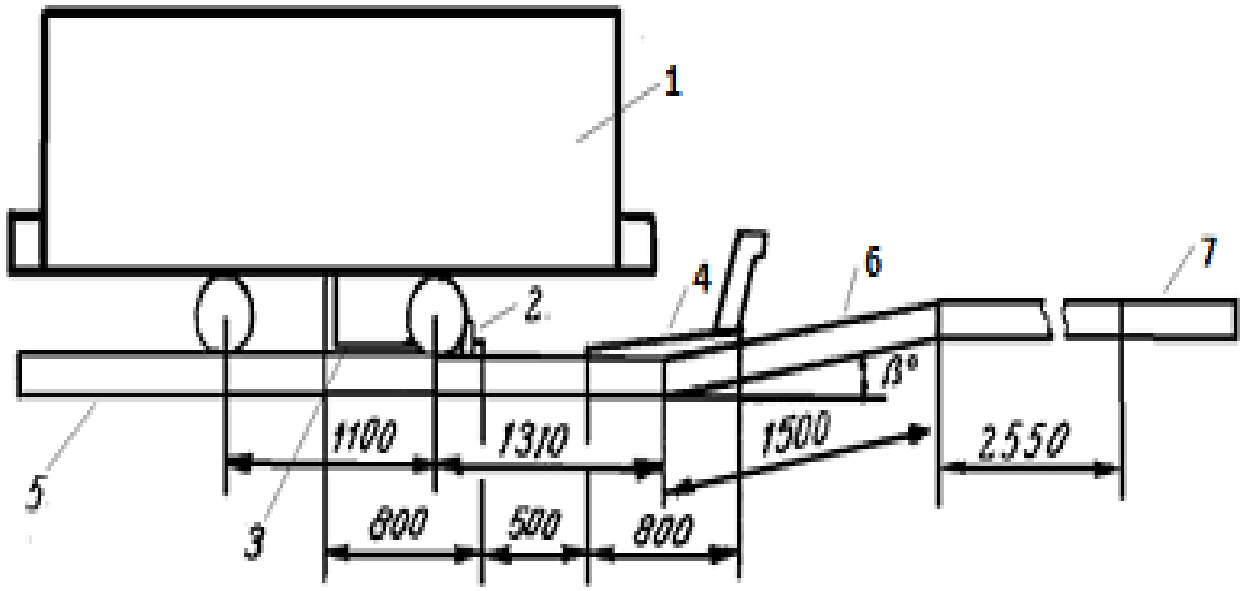


Рис. 1. Расчетная схема для определения кинематических параметров толкателя

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

Основной силой, обеспечивающей движение вагонетки к клети в направлении бегущего поля, является электромагнитная тяговая сила F_m. Как показали ранее выполненные исследования, зависимость тягового усилия F_m от скорости V для привода с ферромагнитным ротором в зоне рабочих скоростей приблизительно линейная, что и принято при дальнейших расчетах. Расчетная тяговая характеристика рекомендуемого линейного двигателя в зоне скоростей от 0 до 2 м/с аппроксимируется прямой линией и определяется следующим уравнением:

$$F_T = 2F_0(1 - k\dot{x}), \quad (1)$$

где F_0 – пусковое тяговое усилие линейного двигателя; k=0,0915 – угловой коэффициент.

Для решения исходного уравнения движения (5) и определения основных кинематических параметров весь участок движения вагонетки до клетевых стопоров разбит в соответствии с количеством характерных участков на 12 этапов (табл.1).

Исходные данные для расчета. В качестве привода приняты два ЛИД с полюсным шагом τ=0,09 м. Пусковое тяговое усилие F_0=8000 Н; синхронная скорость V_c=9 м/с; длина ЛИД – 0,80 м. Масса груженой вагонетки 7280 кг, подвижной части толкателя – 1000 кг.

К числу основных сил, препятствующих движению вагонетки и подвижных кареток, относятся:

– сила сопротивления движению вагонетки;

– сила сопротивления движению привода;

– продольная составляющая веса вагонетки при перемещении ее по качающейся площадке;

– продольная составляющая веса привода при перемещении индукторов по качающейся площадке.

$$\Sigma W = W_в + W_{пр}; \quad (2)$$

$$W_в = G_в(w'\cos\gamma \pm \sin\gamma); \quad (3)$$

$$W_{пр} = 2G_{ин}(w''\cos\gamma \pm \sin\gamma), \quad (4)$$

где ΣW– суммарная сила сопротивления движению, Н; $W_в$ – сила сопротивления движению вагонетки, Н; $W_{пр}$ – сила сопротивления движению привода, Н; w'=0,008 – коэффициент сопротивления движению вагонетки; w''=0,02 – коэффициент сопротивления движению подвижного индуктора; $G_в$=72800 Н – сила тяжести груженой породой вагонетки; $G_{ин}$=4000 Н – сила тяжести тележки толкателя; γ– угол между продольной составляющей веса и линией горизонта, град.

Движение вагонетки описано следующим дифференциальным уравнением [10]:

$$F_T - \Sigma W = M_{пр} \cdot \ddot{x}, \quad (5)$$

где $M_{пр} = \frac{G_в + 2G_{ин}}{g} \cdot 1.075$ – приведенная масса вагонетки и привода, кг, 1,075 – коэффициент инерции вращающихся масс.

При решении поставленной задачи принимались следующие допущения:

– движущаяся вагонетка рассматривалась как материальная точка с массой, равной массе всей вагонетки;

– зазор вдоль всей трассы движения принят постоянным и равен 15 мм;

– силы основного сопротивления движению вагонетки и толкающего органа не зависят от их положения на трассе, так как изменения сопротивлений, вызванные уменьшением нормальных составляющих веса при перемещении их по наклонным участкам, незначительны;

Табл. 1. Этапы движения вагонетки при заталкивании ее в клеть

Этапы движения	Расстояние перемещения, м	Содержание этапа
I	0,55	Индуктор 4 полностью выходит на качающуюся площадку
II	0,50	Индуктор 3 передними колесами достигает качающейся площадки
III	0,20	Индуктор 4 передними колесами выходит к клети
IV	0,06	Вагонетка 1 передними скатами выходит к качающейся площадке
V	0,54	Индуктор 3 полностью выходит на качающуюся площадку
VI	0,20	Индуктор 4 сходит с качающейся площадки
VII	0,36	Вагонетка 1 задними скатами выходит на качающуюся площадку
VIII	0,14	Индуктор 3 передними колесами выходит к клети
IX	0,26	Вагонетка 1 передними скатами выходит к клети
X	0,54	Индуктор 3 задними колесами заходит в клеть
XI	0,56	Вагонетка 1 задними колесами заходит в клеть
XII	1,35	Вагонетка 1 перемещается в клети до стопора

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

– силы сопротивления движению вагонетки и толкающего органа не зависят от скорости перемещения.

Задача решалась для наиболее тяжелого случая работы – заталкивания груженной породой вагонетки типа ВГ-3,3 по качающейся площадке, установленной под углом α=9°, в клеть.

Подставив в уравнение (5) выражения (1), (2), (3), (4) и произведя преобразования, получим:

$$\ddot{x} + 0{,}082\dot{x} + Ax = B, \qquad (6)$$

где A – коэффициент, зависящий от характера изменения сил сопротивления; B – постоянный член правой части уравнения, зависящий от характера изменения сил сопротивления; 0,082 – постоянный коэффициент при $\dot{x}$.

Полученное уравнение представляет линейное неоднородное уравнение второго порядка. Общее решение уравнения (6) имеет вид [11]:

$$x = e^{\alpha t}(C_1 \cos\beta t + C_2 \sin\beta t) + Д, \qquad (7)$$

если корни характеристического уравнения комплексно-сопряженные вида: $r_{1,2}=\alpha\pm\beta i$, или, если корни действительны и различны:

$$x = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + Д, \qquad (8)$$

где $Д$ – частное решение линейного неоднородного дифференциального уравнения.

Постоянные C_1 и C_2, входящие в уравнения (7) и (8), определяем из начальных условий:

$$x\big|_{t=0} = 0;\ \dot{x}\big|_{t=0} = V_0.$$

Причем для первого этапа V_0=0, а для всех последующих этапов V_0 равно скорости вагонетки в конце предыдущего этапа.

Продифференцировав дважды уравнения (7) и (8), получим выражения, описывающие характер изменения скорости движения и ускорения вагонетки во времени:

$$\dot{x} = e^{\alpha t}\left[(\beta C_2 + \alpha C_1)\cos\beta t + (\alpha C_2 - \beta C_1)\sin\beta t\right],$$

или

$$\dot{x} = C_1 r_1 e^{r_1 t} + C_2 r_2 e^{r_2 t} + Д,$$

$$\ddot{x} = e^{\alpha t}\begin{bmatrix}(\alpha^2 C_1 + 2\beta\alpha C_2 - \beta^2 C_1)\cos\beta t + \\ + (\alpha^2 C_2 - 2\alpha\beta C_1 - \beta^2 C_2)\sin\beta t\end{bmatrix},$$

или

$$\dot{x} = C_1 r_1^2 e^{r_1 t} + C_2 r_2^2 e^{r_2 t} + Д.$$

Решение исходного уравнения на всех рассматриваемых этапах предполагает разработку алгоритмов и программ на ПЭВМ, что дает возможность автоматизировать процесс исследования кинематических параметров взаимодействия линейных индукционных двигателей с подвижным составом рельсового транспорта и разработать на этой основе средства перемещения шахтных вагонеток.

В дальнейшем анализ результатов будет приведен для случая расчета зависимости пути, скорости и ускорения от времени.

На рисунке 2 приведена форма, разработанная для ввода исходных данных, а на рисунке 3 приведены графики зависимостей пути, скорости и ускорения перемещения вагонетки в функции времени, построенные по результатам расчетов при углах наклона качающейся площадки +9°.

Из анализа полученных графиков видно, что характер изменения скорости и ускорения зависит от положения вагонетки на рассматриваемой трассе движения, т.е. от величины и характера изменения сил сопротивления движению. Так, например, при перемещении вагонетки по горизонтальному участку пути длиной 1,31 м наблюдается незначительное снижение ускорения, обусловленное характеристикой ЛИД. При этом наблюдается рост скорости. По мере входа вагонетки на качающуюся площадку с α=9° сопротивление ее движению возрастает, а ускорение падает и становится равным нулю при выходе вагонетки на качающуюся площадку S≈0,55 м. Скорость при этом достигает своего максимума.

В дальнейшем вагонетка движется замедленно. Замедление достигает максимума в момент, когда вагонетка выходит полностью на качающуюся площадку. При перемещении вагонетки по качающейся площадке замедление изменяется незначительно. По мере схода вагонетки с качающейся площадки в клеть замедление падает и становится равным нулю, когда вагонетка входит в клеть примерно на половину своей жесткой базы.

Выводы

Теоретические исследования процесса перемещения шахтных вагонеток с помощью линейных индукционных двигателей показали:

– при перемещении одиночных вагонеток магнитным полем ЛИД движение их происходит в неустановившемся режиме;

– при перемещении одиночных вагонеток

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

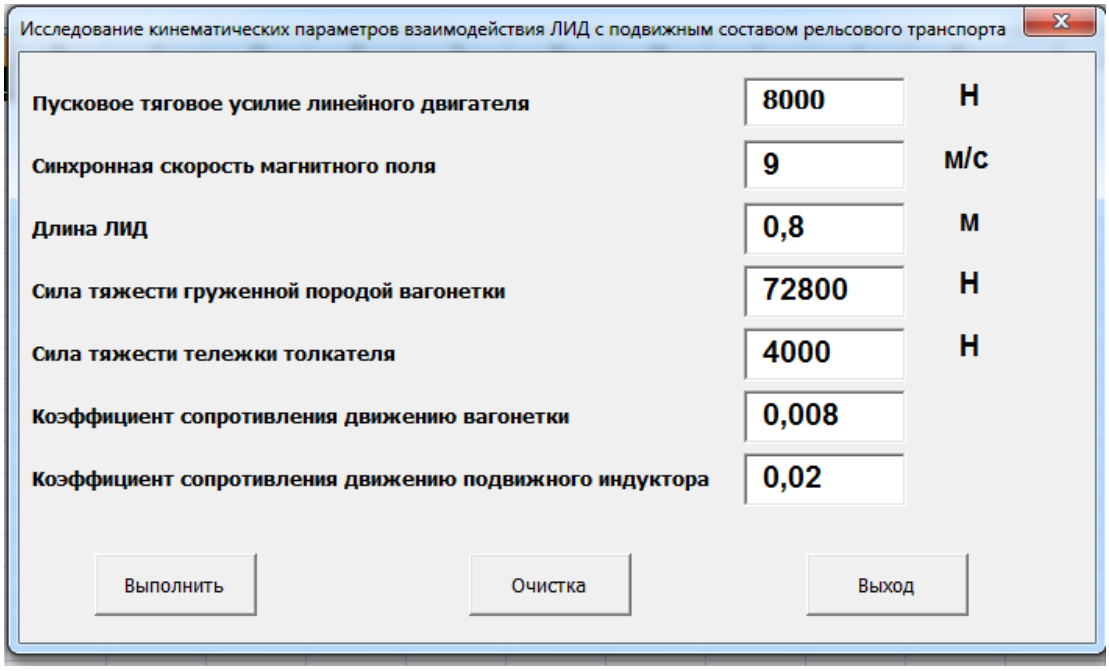


Рис. 2. Форма для ввода исходных данных

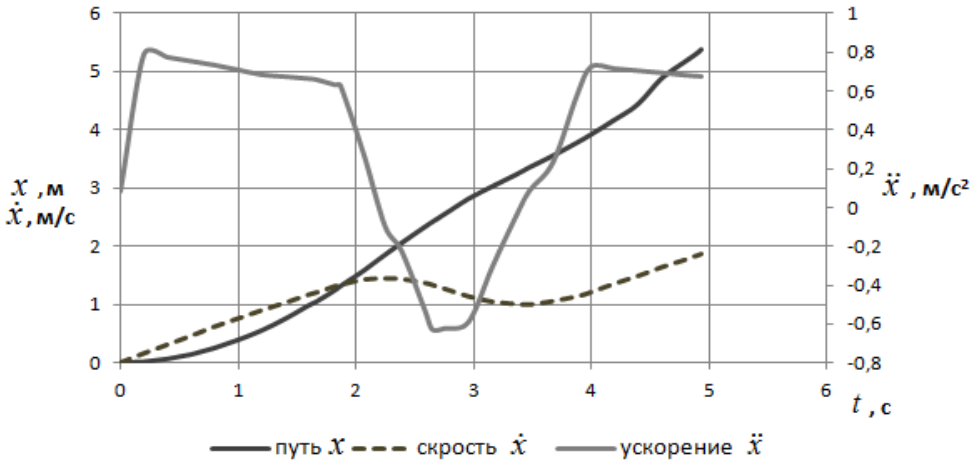


Рис. 3. Кинематические параметры перемещения вагонетки толкателем с подвижным индуктором при угле наклона качающейся площадки 9^0.

толкателем с подвижным индуктором характер изменения скорости и ускорения зависит от величины и характера изменения сил сопротивления движению;

– проведенные расчеты показывают, что при работе толкателя в переменном режиме необходимое тяговое усилие оказывается меньшим, чем силы статического сопротивления на тяжелом участке профиля пути, и принятое усилие 8000 Н является достаточным.

Список литературы

1. Поляков, Н.С. Динамика шахтного рельсового транспорта / Н.С. Поляков, Е.Е. Новиков. – Киев: Наукова думка, 1973. – 198 с.
2. Поляков, Ю.И. Исследование динамических нагрузок на элементы шахтных вагонеток: дис. канд. техн. наук: 05.05.06 / Юрий Иванович Поляков. – Кемерово: ВостНИИ, 1970. – 133 с.
3. Гринченко, В. А. Обоснование базовой конструкции линейного электродвигателя / В. А. Гринченко // Theoretical & Applied Science. – 2013. – Т. 1. – №11 (7). – С. 58-60.
4. Шавлак, В.Ф. Теоретические исследования процесса торможения шахтных вагонеток с помощью магнитных сил / В.Ф. Шавлак, И.В. Тарабаева // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сб. тр. IV междунар. научн.-метод. конф. г. Хаммамет, 28 окт. – 6 нояб. 2010 г.– Донецк: ДонНТУ, 2010. – С. 278-281.
5. Штокман, И.Г. Основы создания магнитных транспортных установок / И.Г. Штокман – М.: Недра, 1972. – 193 с.
6. Поляков, Н.С. Конвейерные поезда в горной

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

промышленности / Н.С. Поляков. – Киев: Наукова думка, 1974. – 208 с.
7. Jufer, M. Le moteur lineaire. Developpement theorique et applications / M. Jufer, N. Wavre // Bull. ASE 63 (1972) 15. – P. 844-856.
8. Ижеля, Г.И. Перспективы применения линейных электродвигателей на новых видах транспорта / Г.И. Ижеля, В.П. Титаренко, В.Ф. Шинкаренко. – Киев: УНИИНТИ и технико-экономических исследований Госплана УССР, 1979. – 174 с.
9. Мишуков, С.В. Области применения линейных электродвигателей // Nauka-rastudent.ru. – 2014. – No. 12 (12-2014): [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://naukarastudent.ru/12/2280/
10. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: учебник / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. – М.: КНОРУС, 2011. – 608 с.
11. Муратова, Т.В. Дифференциальные уравнения: учебник и практикум для СПО / Т. В. Муратова. – М.: Юрайт, 2016. – 435 с.

I.V. Tarabayeva /Cand. Sci. (Eng.)/, V.F. Shavlak /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE STUDY OF THE PROCESS OF MOVING A TUB BY THE PUSHER WITH A LINEAR INDUCTION MOTOR USING MATHEMATICAL MODELING

Background. *One of the most labor-intensive processes of mining transport is the exchange of tubs in cages and car dumpers. The main reason for the low efficiency of mechanization of these processes is the imperfect and low-reliability equipment used in haulage. The main means for mechanization in the exchange of tubs are the pushers. Currently, in operation, there is a large number of different size pushers. Most of them are characterized by such disadvantages: large dynamic loads during operation, low reliability of individual units, the difficulty or impossibility of exchange of tubs with automatic coupling. The technological schemes of exchange and haulage of tubs in the aboveground buildings of the mines developed by the researchers of Tsentrogiproshaht Institute, Donetsk Scientific-Research Coal Institute, and Donetsk National Technical University require the use of pushers with a linear induction drive in addition to traditional pushers. The use of such pushers allows obtaining the forward movement of the working unit without the use of a traditional drive. In this regard, studies of pushers with linear induction motors for the exchange of tubs are timely and relevant.*
Materials and/or methods. *The objective of the study is to determine the kinematic parameters of the linear induction motors interaction with rolling stock of rail transport. For this purpose, we carried out theoretical research of the process of moving a tub by pusher with a linear induction drive. For theoretical studies, the differential equation of a tub motion was written. In the solution of the original equation, the whole site movement of the tub was divided into 12 stages, in accordance with the number of characteristic sites in which the resistance to movement of the tub varied. The solution of the original equation at all the stages was performed on a PC according to the developed algorithm and program, which gave the opportunity to automate the process of kinematic parameters study of the interaction of linear induction motors with a tub.*
Results. *The dependence graphs built of the path, velocity, and acceleration of movement of the tub as a function of time. Discovered that when moving a single tub in a magnetic field it moves in the transient mode; when moving a single tub by pusher with a movable inductor the nature of the change of speed and acceleration depends on the size and nature of the changes of the motion resistance forces.*
Conclusion. *The calculations show that when the pusher is in the variable mode, the required tractive force is less than the forces of the static resistance on the severe portion of the profile path.*

Keywords: *linear induction motors, tub, speed, movement, acceleration, mathematical model.*

Сведения об авторах

И.В. Тарабаева
SPIN-код: 7102-8328
Author ID: 847767
Телефон: +380 (62) 301-09-51
Эл. почта: inkatar1@yandex.ru

В.Ф. Шавлак
SPIN-код: 4837-7126
Author ID: 852557
Телефон: +380 (62) 301-07-78
Эл. почта: shavlak1@yandex.ua

Статья поступила 23.11.2017 г.
© И.В. Тарабаева, В.Ф. Шавлак, 2017
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин

УДК 622.6:621.436.1

Е.В. Рябко
Донецкий институт железнодорожного транспорта (Донецк)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК КАРЬЕРНЫХ И РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Приведены виды разрушения крышек цилиндров дизелей карьерных и рудничных локомотивов. Проанализированы причины выхода из строя дизельных силовых установок горнотранспортных машин. Выявлены факторы, оказывающие непосредственное влияние на надежность элементов дизельной силовой установки, с учетом особенностей их эксплуатации. Рассмотрено влияние переходных процессов на долговечность дизелей карьерных тепловозов, которые необходимо учитывать в эксплуатации.

Ключевые слова: *карьер, тепловоз, дизельная силовая установка, надежность, особенности эксплуатации.*

Постановка проблемы

Развитая горнодобывающая промышленность является основой экономики государства. Территории, обладающие запасами полезных ископаемых, имеют статус минерально-сырьевых баз страны. Тенденция развития горнодобывающей промышленности напрямую зависит от уровня технологической и транспортной готовности горных предприятий, на которых осуществляется добыча полезных ископаемых, как подземным способом, так и на открытых месторождениях, карьерах. Одной из важнейших составляющих горной промышленности является транспорт, который представлен железнодорожным, автомобильным и конвейерным.

С целью повышения конкурентоспособности и развития горнодобывающей отрасли предусматривается снижение продолжительности и изменение структуры ремонтного цикла, повышение надежности горнотранспортных машин, модернизация существующего парка тяговых средств с повышением технико-экономического уровня и энергоэкономичности, увеличение наработки горнотранспортных машин на отказ на 30-40 %. Поставленные задачи носят системный характер и предусматривают комплекс мероприятий по повышению надежности систем и узлов горнотранспортных машин.

Одним из перспективных и наиболее важных направлений является модернизация и повышение надежности силовых установок эксплуатируемых горнотранспортных машин. От надежности работы дизеля горнотранспортных машин зависит бесперебойная работа горной отрасли в целом.

Как известно, наиболее подверженными отказам и преждевременному выходу из строя являются узлы камеры сгорания дизельного двигателя, в частности цилиндровый комплект. Поэтому особую актуальность представляют исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности дизельных двигателей карьерных и рудничных локомотивов.

Анализ последних исследований и публикаций

Транспортная система горного предприятия представляет собой комплекс взаимосвязанных транспортных устройств, предназначенных для перевозки по горным выработкам полезных ископаемых, породы, вспомогательных грузов и персонала.

Техническими средствами, осуществляющими данные операции, являются транспортные машины и оборудование, подразделяющиеся на внутренние и внешние в зависимости от категорий выполнения работ и условий эксплуатации [1-4].

На угольных шахтах основной вид подземного транспорта – локомотивный и конвейерный, на рудных шахтах – локомотивный, самоходный, скреперный и гравитационный. На поверхности используются все виды транспорта.

На горных предприятиях к транспортным машинам и оборудованию предъявляются высокие требования, так как они эксплуатируются в чрезвычайно тяжелых условиях. На классификацию горного транспорта влияет способ транспортировки, тип тяговых элементов, принцип действия силового привода, продолжительность работы и т.д.

Составными звеньями горного транспорта являются: шахтный транспорт, транспорт на обогатительных, брикетных и агломерационных фабриках, транспорт на карьерах.

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

К шахтному транспорту относится подземный транспорт (с определенными условиями эксплуатации – забойный, участковый, магистральный, шахтный подъем), транспорт поверхности (от стволов до пунктов погрузки в средства внешнего транспорта), внешний транспорт (от шахты к потребителю).

При разработке полезных ископаемых открытым способом основными являются грузопотоки вскрышных пород и полезных ископаемых. На современных карьерах годовой грузооборот достигает десятков миллионов тонн горной массы в год.

Транспорт на карьерах подразделяется на следующие категории:

– внутрикарьерный транспорт, представляющий собой транспорт от вскрышных и добычных экскаваторов до подножия наклонных выездных траншей;

– подъемный (траншейный) транспорт – транспорт из карьера на поверхность;

– транспорт на поверхности карьера.

Транспортные машины на горных предприятиях при открытой добыче работают в тяжелых условиях, которые необходимо учитывать при их конструировании и эксплуатации.

Общие требования, предъявляемые к транспортным машинам и оборудованию:

– обеспечение заданных технических показателей по производительности;

– расстояние транспортирования и угол наклона;

– соответствие характеристик транспортных установок и технологического оборудования при совместной эксплуатации;

– высокие экономические показатели;

– эксплуатационная безопасность;

– повышенная надежность работы;

– возможность автоматизации конструкции транспортных установок и агрегатов и последующее централизованное управление.

Особые условия эксплуатации, присущие подземному транспорту:

– ограниченность рабочего пространства;

– необходимость перемонтажа или передвижки транспортного оборудования в зависимости от перемещения фронта горных работ;

– возникновение внезапных перегрузок, значительно превосходящих номинальные;

– работа во взрывоопасной рудничной атмосфере;

– абразивность транспортируемого материала;

– влажность среды и химическая активность шахтных вод; наклонная установка некоторых машин.

В связи с этим предъявляются требования минимума габаритов машин, минимума веса и легкости монтажа, повышенной прочности и износостойкости, взрывобезопасности исполнения, обеспечения нормальной смазки при наклонной установке машин.

Особые условия эксплуатации карьерного транспорта: достаточно большие грузопотоки; эксплуатация в различных климатических условиях; необходимость преодоления значительных подъемов для выдачи горной массы на поверхность; необходимость перегруппировки транспортного оборудования, а также смена дислокации пунктов погрузки и разгрузки.

В связи с этим предъявляются требования обеспечения заданного грузооборота при возможно меньшей трудоемкости и большей экономичности, что достигается механизацией и автоматизацией всех основных и вспомогательных работ, приспособленности оборудования к работе при низких и высоких температурах и неблагоприятных погодных условиях.

На открытых горных выработках и преимущественно при карьерно-вывозной работе применяется железнодорожный транспорт.

В горной промышленности преимущественно эксплуатируется специальный тяговый подвижной состав – карьерные и рудничные локомотивы и тяговые агрегаты.

По типу силовой установки горные локомотивы можно разделить на электровозы (питание от контактной сети или аккумуляторной батареи), тепловозы или дизелевозы (дизельный двигатель). Основным типом карьерных и рудничных локомотивов является электровоз. Достаточно широко на карьерах применяются тепловозы.

При открытых горных работах особые требования предъявляются к карьерным транспортным средствам как к одному из главных звеньев технологического процесса по доставке твердого полезного ископаемого от карьера на обогатительную фабрику или непосредственно к потребителю, а также в отвал.

В связи с наметившимися тенденциями углубления карьеров, условия работы железнодорожного транспорта постоянно усложняются. Это проявляется, прежде всего, при обеспечении перевозки больших объемов горной массы с глубоких горизонтов.

Железнодорожный транспорт эффективно применяется при широком изменении объемов перевозки (от 20 до 100 млн. т/год и более); рациональное расстояние тяговых плеч составляет 5-10 км и более; радиусы кривых могут быть в пределах 80-100 м [5]. Кроме того, железнодо-

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

рожные пути карьеров характеризуются повышенными углами подъема рельсовых путей (до 60 ‰), значительной протяженностью кривых участков, при этом радиусы кривизны редко превышают 300 м [6].

Карьерный железнодорожный транспорт имеет ряд особенностей, отличающих его от транспорта общего пользования [2, 7]:

– пункты погрузки и разгрузки постоянно меняют свое местоположение, следуя за фронтом горных работ, что требует периодического перемещения транспортных коммуникаций и оборудования (железнодорожных путей, автодорог, конвейеров);

– для карьерных транспортных средств прерывного действия (железнодорожный, автомобильный и др.) характерно наличие цикла, который состоит из операций погрузки, движения с грузом, разгрузки и обратного порожнего движения;

– путь горной машины из карьера характеризуется, как правило, наличием большого уклона при разработке как глубинных, так и нагорных месторождений.

Основными требованиями, предъявляемыми к карьерному транспорту, являются:

– обеспечение заданного грузооборота;

– бесперебойность работы (точное соблюдение графика движения – для средств цикличного действия, непрерывность потока – для транспортных средств непрерывного действия);

– возможно меньшая трудоемкость работ, достигаемая путем механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов при транспортировании;

– безопасность движения и ведения работ.

Проведенный анализ транспортных средств горной промышленности свидетельствует о различных условиях эксплуатации, которые характеризуются типом добычи полезных ископаемых. Общей особенностью всего горного транспорта является наличие силовой установки. Наряду с электрическими тяговыми агрегатами широко применяется автономный транспорт с первичной силовой установкой – дизельным двигателем.

Вопросам совершенствования конструкции и улучшения условий эксплуатации горно-транспортных машин посвящено достаточное количество работ. Проблемам тяговых средств горнотранспортных машин посвящен ряд фундаментальных исследований следующих ученых: Штокман И.Г., Шахтарь П.С., Гуляев В.Г., Кондрахин В.П., Шабаев О.В., Гутаревич В.О., Васильев К.А., Таран И.А., Керопян А.М. и многие другие [8-15].

Цель (задачи) исследования

Цель настоящей работы: провести анализ транспортных средств горной промышленности и условий его эксплуатации. Рассмотреть основные виды разрушений крышек цилиндров дизельных двигателей карьерных и рудничных локомотивов. Выполнить анализ отказов дизеля горнотранспортной машины. Исследовать факторы, оказывающие влияние на надежность силовой установки рудничных локомотивов и карьерных тепловозов.

Основной материал исследования

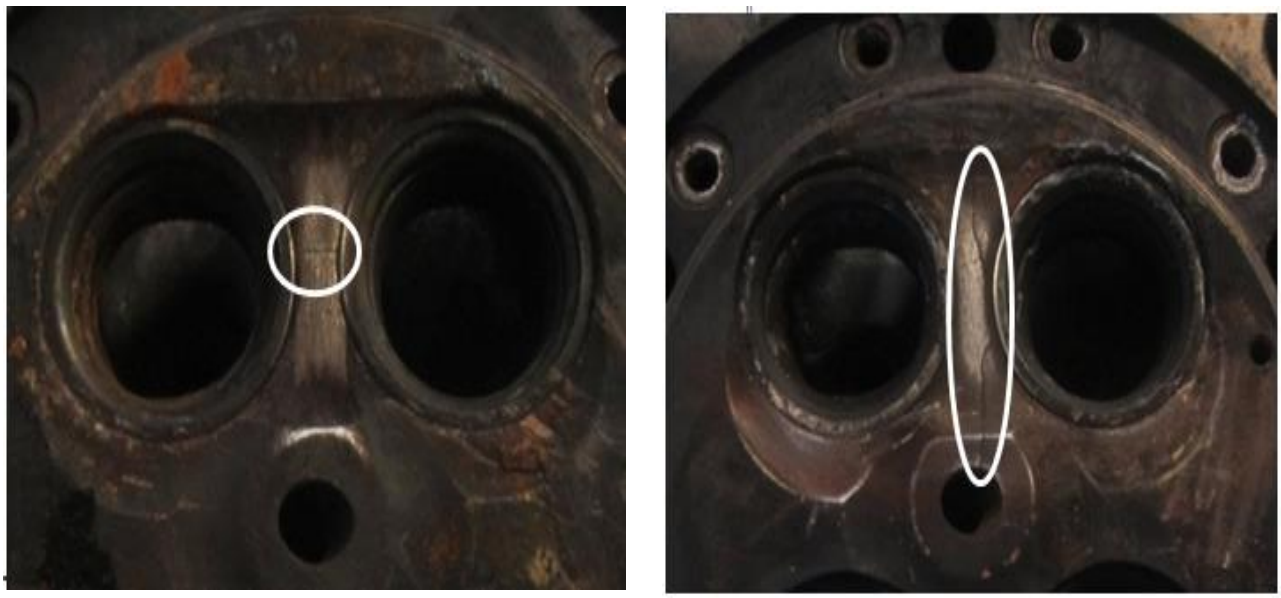
Особое место среди горных машин занимают силовые установки. Одним из актуальных направлений исследований являются дизельные силовые установки карьерных большегрузных автосамосвалов, дизелевозов, карьерных тепловозов, дизель-генераторы буровых установок [16-18].

Большинство исследований охватывает конструктивные особенности горно-транспортных машин, и как следствие, повышение надежности достигается за счет изменения применяемых материалов или их конструкции [19-21]. Учитывая количество дизельных силовых установок горных машин, находящихся в эксплуатации, изменение конструкционных особенностей повлечет за собой значительные капиталовложения. Поэтому вопрос повышения долговечности должен быть решен с помощью комплекса мероприятий, уменьшающих количество отказов, тем самым повышая надежность дизелей силовых установок карьерных и рудничных локомотивов.

Безотказная работа дизеля карьерных большегрузных автосамосвалов, дизелевозов и карьерных тепловозов зависит от надежности цилиндровых крышек, которые испытывают большие нагрузки от температуры и давления газов со стороны огневого днища. Величина нагрузок на крышки цилиндров в большей степени обусловлена остаточными напряжениями. Высокий уровень остаточных напряжений возникает из-за значительного перепада температур между краями днища и центральной частью, вследствие чего возникают трещины в межклапанных перемычках (рис. 1).

Образование разгарных трещин на поясах гнезд выпускных клапанов ниже и выше плавающих седел объясняется действием рабочих газов, которые движутся с высокой скоростью и температурой по зазорам между телом крышки и седлом выпускного клапана, а также нарушением целостности верхнего слоя металла путем разрыва или прогара. Реже встречаются разрушения цилиндровой крышки в районе отверстия под форсунку (рис. 2).

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



а б

Рис. 1. Поперечная – *а* и продольная – *б* трещины межклапанной перемычки цилиндровой крышки дизеля горнотранспортной машины



а б

Рис. 2. Разрушение в районе отверстия под форсунку – *а* и разрушение межклапанной перемычки – *б* цилиндровой крышки дизеля горнотранспортной машины

Для объективной оценки причин отказов цилиндровых крышек дизелей карьерных локомотивов проведен анализ статистических данных на транспортных предприятиях с различными условиями эксплуатации тепловозов. На основании полученных данных об отказах элементов дизельного двигателя в период с 2010 по 2014 г. можно сделать вывод, что наименее надежным узлом из систем дизеля является цилиндропоршневая группа. На ее долю приходится до 40-50 % отказов дизелей (рис. 3).

Анализ выхода из строя цилиндропоршневой группы в период 2010-2014 гг. свидетельствует о том, что порядка 40 % повреждений приходится на крышки цилиндров (рис. 4). Статистические данные свидетельствуют о целесообразности выявления и предупреждения причин образования данных неисправностей.

На надежность крышек цилиндров дизелей большегрузных автосамосвалов, дизелевозов и карьерных тепловозов оказывает влияние множество факторов, главные из которых необходимо определить и детально проанализировать. Для удобства факторы можно выделить в две основные группы: конструкционные и эксплуатационные, которые делятся на ряд подгрупп.

К конструкционным факторам относятся: воздействие рабочих газов (давление газов,

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

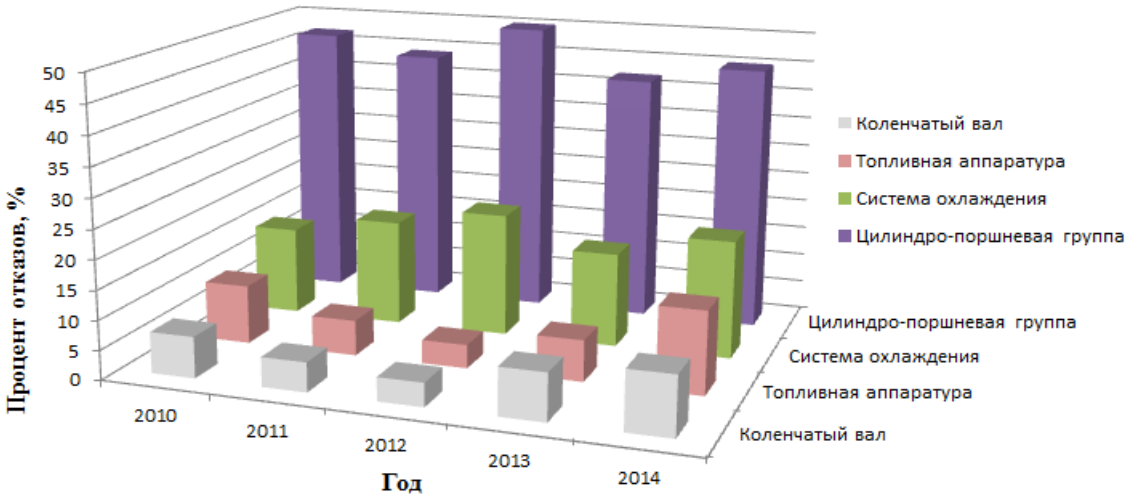


Рис. 3. Распределение неисправностей узлов дизелей и их систем

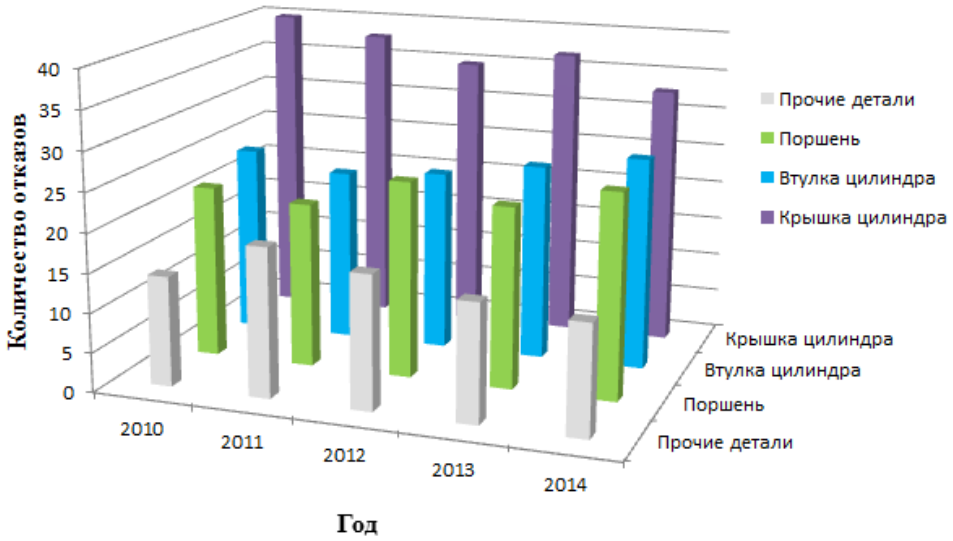


Рис. 4. Распределение неисправностей деталей цилиндропоршневой группы дизелей карьерных тепловозов

образование нагара), термомеханические свойства материала, которые подразделяются на конструкционные особенности (механические свойства материалов, типы чугунов, толщина огневого днища, дефекты производства) и теплонапряженность.

Эксплуатационные факторы подразделяются на такие подгруппы: температурный режим (сезонные колебания температуры, температура окружающей среды, градиент температур); техническое состояние топливной системы (насосов высокого давления, форсунок, качество топлива); техническое состояние водяной системы (температура охлаждающей жидкости, работа водяного насоса, исправность системы автоматического регулирования температуры, нарушение теплообмена, температура наддувочного воздуха, химический состав охлаждающей жидкости); условия эксплуатации (нарушение режимов эксплуатации, человеческий фактор); технология ремонта (человеческий фактор, брак при ремонте); система диагностики [22].

Некоторые факторы оказывают большее влияние на надежность крышек цилиндров горнотранспортных машин и требуют более детального рассмотрения:

– влияние теплового напряжения (резкое повышение температуры газов при горении топлива неизбежно ведет к нагреванию поверхностного слоя цилиндровой крышки). Процесс нагревания металла приводит к его расширению, которое наблюдается в поверхностных слоях огневого днища. Параллельно с этим происходит процесс расширения газов, при выталкивании которых происходит резкое снижение температуры. Данный процесс сопровождается наличием конвективного и лучистого теплообмена со стороны газов. В процессе интенсивного сгорания доля лучистой составляющей теплового потока приближается к 40 %. В зависимости от нагрузки на дизель горнотранспортной машины теплообмен

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

со стороны охлаждения может осуществляться в режиме вынужденной конвекции или же поверхностного кипения [23];

– влияние температуры окружающей среды на температуру крышки цилиндров. В ряде работ [24] авторы исследовали влияние повышенных температур окружающего воздуха на тепловое состояние крышек цилиндров транспортных дизелей. Повышение температуры окружающего воздуха вызывает рост температур в стенках деталей цилиндропоршневой группы, вследствие чего наблюдается рост температуры газов и уменьшение коэффициента избытка воздуха. Данная зависимость носит линейный характер. Увеличение температуры окружающего воздуха вызывает увеличение температуры в межклапанных перемычках цилиндровой крышки;

– техническое состояние системы охлаждения дизелей горнотранспортных машин. Данная система играет важную роль в работе дизеля и контролирует температурные параметры. Засоренность секций холодильников и каналов охлаждающей системы ведет к нарушению циркуляции охлаждающей жидкости, тем самым ухудшая теплоотвод от дизеля и его составных частей;

– скорость протекания охлаждающей жидкости через полости охлаждения цилиндровых крышек. При малых нагрузках в дизелях горнотранспортных машин теплообмен в полостях охлаждения осуществляется в режиме вынужденной конвекции, вследствие чего коэффициент теплоотдачи напрямую зависит от расхода охлаждающей жидкости. Теплообмен при средних нагрузках и нагрузках, близких к номинальным, протекает в режиме поверхностного кипения [25];

– химический состав охлаждающей жидкости;

– исправность работы системы автоматического регулирования температуры. Разрегулировка и выход из строя приборов автоматики существенно влияет на процесс охлаждения дизеля;

– влияние человеческого фактора. В некоторых случаях возможно влияние человеческого фактора на систему охлаждения;

– брак при изготовлении или недостаточном контроле проверки крышек цилиндров на заводе-производителе;

– неудовлетворительное техническое состояние топливной системы.

Особое внимание следует уделить теплонапряженности транспортных дизелей при переходных процессах, которая зависит от всех перечисленных факторов [26,27].

Наибольшее влияние на долговечность деталей цилиндропоршневой группы дизелей карьерных большегрузных самосвалов и тепловозов оказывают переходные процессы, которые сопровождаются следующими характерными особенностями [28]:

– при недостаточно прогретых стенках цилиндропоршневой группы увеличивается задержка воспламенения;

– при прогреве дизеля имеют место температурные напряжения и соответствующая деформация головки поршня с крышкой цилиндра;

– при резком переходе дизеля с холостого хода на номинальный режим отмечается значительное превышение температурных напряжений узлов камеры сгорания, свойственных номинальному режиму. Эта величина больше на 15 % по сравнению с их значениями после окончательного прогрева дизеля;

– во время пуска дизеля механические напряжения на 17 % превышают напряжения при установившемся режиме;

– предварительный прогрев дизеля способствует снижению максимального давления сгорания в первых пусковых циклах, быстрой стабилизации работы системы смазки, что в совокупности обеспечивает снижение изнашивания деталей цилиндропоршневой группы;

– после длительной стоянки целесообразно предусматривать постепенное нагружение двигателя до полной нагрузки с целью уменьшения влияния температурных напряжений;

– после остановки двигателя плавное снижение и выравнивание температур нагруженных деталей цилиндропоршневой группы достигается только при продолжении прокачки через двигатель воды и масла;

– практически через несколько секунд после начала переходного процесса тепловоспринимающая поверхность деталей, ограничивающих камеру сгорания, имеет температуру, близкую к температуре конечного установившегося режима; при последующем прогреве деталей стабилизируется их напряженно-деформированное состояние.

Перечисленные факторы оказывают значительное влияние на техническое состояние крышек цилиндров и их преждевременный выход из строя. Для разработки комплекса мероприятий, направленных на продление срока службы дизелей силовых установок горно-транспортных машин, необходим научно обоснованный и комплексный подход.

Выводы

Надежность цилиндровых крышек оказывает непосредственное влияние на безотказную работу дизеля карьерных и рудничных локомотивов. Детали и узлы цилиндро-поршневой группы дизелей силовых установок транспортных машин подвергаются воздействию больших нагрузок от

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

температуры и давления газов.

На основании полученных данных об отказах элементов дизельного двигателя горно-транспортных машин можно сделать вывод, что наименее надежным узлом из систем дизеля является цилиндропоршневая группа, на долю которой приходится до 40-50 % отказов дизелей. Механизм разрушения крышек цилиндров зависит от множества факторов, которые были определены и детально проанализированы. Выделены две основные группы факторов.

Наибольшее влияние на долговечность деталей цилиндропоршневой группы дизелей карьерных большегрузных самосвалов и тепловозов оказывают переходные процессы. При резком переходе дизеля с холостого хода на номинальный режим величина температурных напряжений узлов камеры сгорания больше на 15 % по сравнению с номинальным режимом. Во время пуска дизеля механические напряжения на 17 % превышают напряжения при установившемся режиме. Соответственно, теплонапряженность дизелей горнотранспортных машин при переходных процессах сопровождается характерными особенностями, которые необходимо учитывать в эксплуатации.

Научно обоснованный, комплексный подход в разработке мероприятий по продлению срока службы дизелей горнотранспортных машин позволит существенно снизить влияние рассмотренных факторов, уменьшить количество отказов и повысить надежность силовых установок транспортных дизелей.

Список литературы

1. Васильев, К. А. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников: Учебное пособие / К. А. Васильев, А. К. Николаев, К. Г. Сазонов. – СПб.: Лань, 2012. – 544 с.
2. Кузнецов, Б. А. Транспорт на горных предприятиях / Б. А. Кузнецов [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 644 с.
3. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: учебное пособие для вузов. / В. В. Ададуров [и др.]; под ред.: В. А. Будишевского, А. А. Сулимы. – Донецк: ДонГТУ, 1999. – 216 с.
4. Проектування транспортних систем енергоємних виробництв / В.О. Будішевський [та ін.]; за ред. В. О. Будішевського, А. О. Суліми. – Донецьк: Інфо-Друк, 2008. – 454 с.
5. Трубецкой, К. Н. Открытые горные работы: Справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов и др. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
6. Евдокимов, Б. А. Железнодорожный транспорт открытых разработок / Б.А. Евдокимов, Г. Д. Забелин и др. – М.: Недра, 1984. – 181 с.
7. Потапов, М. Г. Карьерный транспорт / М. Г. Потапов. – М.: Недра, 1980. – 296 с.
8. Проектирование и конструирование транспортных машин и комплексов: Учебное пособие для вузов / И. Г. Штокман [и др.]; под ред. И. Г. Штокмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 392с.
9. Шахтарь, П. С. Рудничные локомотивы: динамика и расчет / П.С. Шахтарь. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
10. Гуляев, В.Г. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», Технопарк «УНИТЕХ», 2011. – 322 с.
11. Кондрахин, В. П. Электрические механизмы перемещения очистных комбайнов / В. П. Кондрахин, В. В. Косарев, Н. И. Стадник; под общ. ред. В. П. Кондрахина. – Донецк: Технопарк ДонНТУ «УНИТЕХ», 2010. – 257 с.
12. Gutarevych, V. Research on the Influence of Dynamic Load on Suspended Monorail / V. Gutarevych [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 806. – P. 23-29.
13. Таран, И. А. Трансмиссии шахтных дизелевозов: монография / И. А. Таран. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – 255 с.
14. Шабаев, О.Е. Техническая диагностика резцового исполнительного органа проходческого комбайна / О. Е. Шабаев [и др.]. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2015. – 200 с.
15. Керопян, А.М. Развитие теории взаимодействия и обоснование рациональных параметров системы колесо-рельс карьерных локомотивов в режиме тяги: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.05.06 / Амбарцум Мкртичевич Керопян. – Екатеринбург, 2015. – 30 с.
16. Becker Mining Systems: [Electronic resource]: website. – Friedrichsthal, 2017. – Режим доступа: http://becker-mining.com
17. Ferrit. Global Mining Solution: [Electronic resource]: website. – Frýdlant nad Ostravicí, 2015. – Режим доступа: http://ferrit.cz/ru/produkty/podvesnoj-transport
18. SMT Scharf AG [Electronic resource]: website. – Hamm, 2016. – Режим доступа: https://smtscharf.com/deutsch/smt-scharf-gruppe/index.html
19. Molotilov, S.G. Improvement of combined transport schemes in deep open pit mines / S.G. Molotilov [et al.] // Journal of Mining Science. – 2004. –Vol. 40. Issue 5. – P. 508-514.
20. Ziborov, K. On influence of design parameters of mining rail transport on safety indicators / K.

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

Ziborov [et al.] // Mechanics, Materials Science & Engineering. – 2016. – Vol. 2. – P. 63-70.
21. Yutkina, I. Development of Generalized Dynamic Model of Oscillations of Cylinder Case of Diesel Engine of Locomotive / I. Yutkina // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9. Iss. 1. – P. 95-102.
22. Рябко, К.А. Повышение долговечности крышек цилиндров тепловозных дизелей / К.А. Рябко, Е.В. Рябко // Известия Транссиба. – 2016. – № 4 (28). – С. 30-37.
23. Розенблит, Г.Б. Теплопередача в дизелях / Г.Б. Розенблит. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
24. Чайнов, Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н.Д. Чайнов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2008. – 494 с.
25. Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Р.З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с.
26. Чайнов, Н.Д. Тепломеханическая напряженность деталей двигателей / Н.Д. Чайнов, В.Г. Заренбин, Н.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
27. Rakopoulos, C.D. Experimental and theoretical study of the short-term response temperature transients in the cylinder walls of a diesel engine at various operating conditions / C.D. Rakopoulos [et al.] // Appl. Thermal Eng. – 2004. – Vol. 24. – P. 679-702.
28. Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев: под общ. ред. А.К. Костина. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.

E.V. Ryabko
Donetsk Institute of Railway Transport (Donetsk)

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF DIESEL POWER UNITS OF THE QUARRY AND MINE LOCOMOTIVES

Background. *The common feature of all mining transport is the availability of the power unit. Along with the electric traction machines, the autonomous mining machines with a primary power unit – diesel engine widely used. The important areas of research are diesel power units for the quarry dump trucks, locomotives, electric quarry locomotives, and diesel generators for drilling rigs. The analysis of transport systems for mining industry carried out. The analysis of transport for the mining industry illustrates the different operating conditions characterized by the mining method.*
Materials and/or methods. *The main types of cylinders damage in diesel engines for quarry and mine locomotives described. The most prone to failure is the combustion chamber assembly of the diesel engine, in particular, a cylinder set. Therefore, of particular relevance is the research aimed at improving the operational reliability of diesel engines for mine locomotives and quarry electric locomotives. Found out that the least reliable unit of diesel mining transport is the cylinder-piston group, which accounts for up to 40-50 % failure rate of diesel engines.*
Results. *The mechanism of cylinder covers damage depends on many factors that were identified and analyzed in detail. Two groups of factors – structural and operational – identified. The heat stress of diesel engines for mining transport in transition processes is accompanied by characteristic features that need to be considered in operation. With a sharp transition of a diesel engine from idling to nominal mode, the value of the thermal stress of the combustion chamber assembly is 15% more compared to the nominal mode. During the diesel start, the mechanical stress is 17 % higher than that at stationary mode.*
Conclusion. *A scientifically based integrated approach in the development of measures to prolong the service life of the diesel engines of mining machines will significantly reduce the impact of the factors considered, reduce the number of failures and improve the reliability of transport diesel power engines.*

Keywords: *quarry, diesel locomotive, diesel power unit, reliability, operation features.*

Сведения об авторе
Е.В. Рябко
SPIN-код: 9216-7256
Телефон: +380 (99) 381-10-82
Эл. почта: evgeniya.ryabko@gmail.com

Статья поступила 14.12.2017 г.
© Е.В. Рябко, 2017
Рецензент д.т.н., проф. О.Е. Шабаев

УДК 621.61:6241.1

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

АЛГОРИТМ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАКЛОННОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ВЫСОКИМИ СКРЕБКАМИ

Проанализированы основные проблемы, возникающие при создании высокопроизводительных и надежных транспортных машин на современном этапе технического перевооружения промышленности. Скребковые конвейеры с высокими скребками широко применяются для транспортирования сыпучих грузов. При их создании и модернизации необходимо решить множество локальных задач, в том числе рассчитать параметры элементов конструкций конвейеров, а также определить условия, при которых высокие скребки конвейеров работали бы устойчиво, без чрезмерных отклонений назад. Составлена математическая модель расчета горизонтально-наклонного скребкового конвейера с высокими скребками. Проанализированы полученные результаты.

***Ключевые слова*:** *скребковый конвейер, высокие скребки, желоб, надежность.*

Постановка проблемы

Решение проблемы создания высокопроизводительных и надежных транспортных машин на современном этапе технического перевооружения промышленности требует в первую очередь объективной оценки их параметров с учетом всех факторов, влияющих на эффективность использования данного технического оборудования. Нельзя создать технические средства транспортирования грузов, не имея надлежаще обоснованных и проверенных методических материалов по их расчету и проектированию. Скребковые конвейеры с высокими скребками широко применяются для транспортирования сыпучих грузов. При их создании и модернизации необходимо решить множество локальных задач, в том числе рассчитать параметры желоба, скребков, сопротивлений движению и натяжений тягового органа, при которых скребки работали бы устойчиво, без чрезмерных отклонений назад, определить мощность привода и др. Поэтому разработка алгоритма расчета указанного конвейера является актуальной научной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций

В учебном пособии для вузов [1] в разделе «Транспорт конвейерами» приведены порядок и методика расчета скребковых конвейеров, в том числе расчет производительности конвейера и сопротивлений движению тяговой цепи и ее натяжений в характерных точках, проверка тяговой цепи на прочность и расчет мощности двигателей для двигательного и тормозного режима. Однако эта методика полностью учитывает особенности условий работы забойных шахтных конвейеров. В другом учебном пособии [2] также не отражены вопросы расчета скребковых конвейеров с высокими перегородками и комбинированными углами их установки для сложных трасс транспортирования грузов. Успешному решению отдельных задач для указанных типов конвейеров способствуют труды научно-исследовательских, проектно-конструкторских и учебных институтов (Гипроуглемаш, Донгипроуглемаш, ДонУГИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ДонНТУ, МГГУ) и многих зарубежных фирм [3-6].

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является снижение трудоемкости операций проектировщика при выборе транспортного оборудования для заданных условий эксплуатации.

В работе решаются следующие взаимосвязанные задачи:

– обоснование выбора скорости движения тягового органа;

– дается выражение для определения расчетной производительности скребкового конвейера;

– по заданной производительности определяется рабочая ширина желоба;

– определяется суммарное сопротивление движению тягового органа с учетом горизонтального и наклонного участков конвейера;

– рассчитывается тяговое усилие на приводной звездочке;

– рассчитывается мощность приводного электродвигателя;

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

– определяются усилия в тяговом органе (в набегающей и сбегающей ветвях);

– выбирается цепь по коэффициенту запаса прочности и уточняется этот коэффициент;

– подбирается электродвигатель, определяется передаточное число и компонуется привод.

Основной материал исследования

Принимаем расчетную схему скребкового конвейера с высокими скребками (рис. 1).

На основе всестороннего анализа существующих схем скребковых конвейеров, методик расчета и опытного их апробирования автором предложен следующий алгоритм расчета горизонтально-наклонного скребкового конвейера с высокими скребками.

1. Скорость транспортирования принимают постоянной или регулируемой в определенном диапазоне в зависимости от назначения конвейера. Скорость движения тягового органа скребковых конвейеров меньше скорости движения ленты ленточных конвейеров вследствие больших потерь на трение.

2. Расчетная производительность скребкового конвейера Q, т/ч:

$$Q = 3600F\gamma\upsilon = 3600Bh\psi k_\beta\upsilon,$$

где F – расчетная площадь груза в желобе, м^2; B, h – соответственно ширина и высота желоба, м; ψ – коэффициент заполнения желоба: 0,5…0,6 для легко сыпучих грузов и 0,7…0,8 для плохо сыпучих грузов; k_β – экспериментально полученный коэффициент, зависящий от угла наклона желоба; ρ – плотность транспортируемого груза, т/м^3; υ – скорость движения цепи, м/с.

Коэффициент соотношения ширины и высоты скребка:

$$k_\beta = \frac{b_{ск}}{h_{ск}},$$

где $b_{ск}$ – ширина скребка, мм; $h_{ск}$ – высота скребка, мм.

Коэффициент k_β выбирается по таблице 1.

3. Обычно при проектировании конвейеров непрерывного действия необходимо выбрать геометрические параметры конвейера заданной производительности для транспортирования определенного груза. В зависимости от физико-механических свойств груза выбирают рабочую скорость транспортирования, определяют геометрические размеры скребка конвейера, способ их крепления.

4. По заданной производительности находят рабочую ширину желоба:

$$B = \sqrt{\frac{(2...4)Q}{3600\upsilon\rho k_\beta\psi}}.$$

Полученную ширину желоба округляют по типовым размерам ширины скребка (по ГОСТ 7116-77 $b_{ск}$=120…1200 мм) с учетом зазора между желобом и скребком на каждую сторону по 5…15 мм.

Высота скребка обычно больше высоты желоба на 25…50 мм. Шаг скребка $t_{ск} = (2...4)h_{ск}$.

Вычисленная ширина желоба и шаг скребков должны быть проверены по кусковатости груза. Расстояние между скребками и ширина желоба должны удовлетворять условиям:

$$t_{ск} \geq 1{,}5\alpha_{\max};\ B \geq k_c\alpha_{\max},$$

где k_c – коэффициент, зависящий от конструкции конвейера и характера груза: для двухцепных конвейеров и сортированных грузов 3…4; для несортированных грузов 2…2,5; для одноцепных конвейеров соответственно 5…7 и 3…3,5; α_{max} – максимальный размер куска транспортируемого груза.

5. Типы приводного, натяжного, загрузочного и разгрузочного устройств предварительно

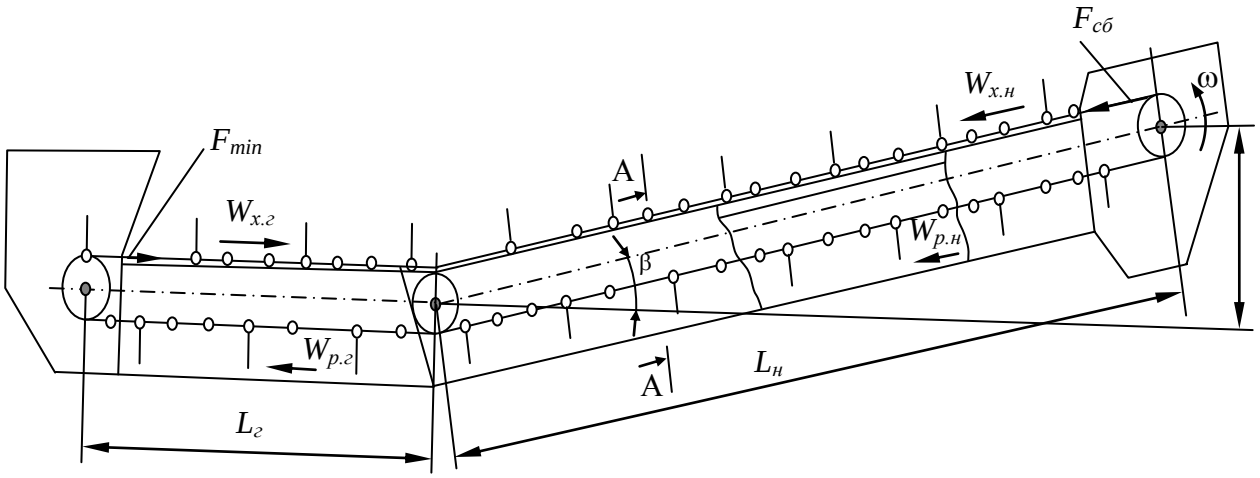


Рис. 1. Расчетная схема скребкового конвейера

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

Табл. 1. Значение коэффициента k_β

Груз	Угол наклона конвейера					
	0	10	20	30	35	40
Легко сыпучий	1,0	0,85	0,65	0,5	0,2	-
Плохо сыпучий, кусковой	1,0	1,0	1,0	0,75	0,6	0,5

выбирают с учетом общих и специфических требований, предъявляемых к конструкции, а также возможности использования стандартных и унифицированных узлов и элементов конструкции.

Суммарное сопротивление движению тягового органа скребкового конвейера, Н:

$$W_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} W_i = W_{гр.н} + W_{гр.г} + W_{пор.н} + W_{пор.г},$$

где W_i – сопротивление на i-м участке; n – число участков.

Сопротивление перемещению груза и тягового органа (цепи со скребками) $W_{гр.н}$ на рабочем наклонном участке длиной $L_{гр.н}$:

$$W_{гр.н} = L_{гр.н} g(q_{гр} + q_ц)(\omega' cos\beta + sin\beta),$$

где $q_{гр}$ – линейная плотность груза, кг/м; $q_ц$ – линейная плотность тягового органа, кг/м; ω' – коэффициент сопротивления перемещению груза по желобу: для скребковых конвейеров ω'=0,3…1,0; β – угол наклона ветви конвейера, град.; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Сопротивление перемещению груза и тягового органа (цепи) $W_{гр.г}$ на рабочем горизонтальном участке длиной $L_{гр.г}$:

$$W_{гр.г} = L_{гр.г} g(q_{гр} + q_ц)\omega'.$$

Сопротивление движению порожней ветви тягового органа $Wno_{р.г}$ на горизонтальном участке длиной $L_{пор.г}$:

$$W_{пор.г} = L_{пор.г} g q_ц \omega'_ц,$$

где $\omega'_ц$ – коэффициент сопротивления перемещения тягового органа: для катковых цепей 0,1…0,13; для цепей без катков (перемещающихся скольжением) 0,25…0,4 (большее значение принимают для конвейеров меньшей производительности).

Сопротивление движению порожней ветви тягового органа $W_{пор.н}$ на наклонном участке длиной $L_{пор.н}$:

$$W_{пор.н} = L_{пор.н} g q_ц (\omega'_ц cos\beta - sin\beta).$$

Знак (–) указывает на то, что на рассматриваемом участке $W_{пор.н}$ является движущей силой, направленной в сторону движения тягового органа (см. рис. 1).

6. Расчетное тяговое усилие (окружная сила) W_0 на приводной звездочке:

$$W_0 = (\omega'_0)^m \sum_{i=1}^{n} W_i = (\omega'_0)^m \times \times \left[W_{гр.н} + W_{гр.г} + W_{пор.н} + W_{пор.г}\right],$$

где ω'_0=1,05…1,1 – коэффициент сопротивления на натяжной и отклоняющей звездочках, учитывающий потери в шарнирах цепи при их огибании и потери в подшипниках; m – число звездочек, кроме приводной.

7. Расчетная мощность приводного электродвигателя N, кВт:

$$N = \frac{k_m W_0 \upsilon}{1000\eta_0},$$

где η_0 – КПД всего передающего механизма, включая приводные звездочки.

8. Определение усилий в тяговом органе.

Усилия в набегающей ветви $S_{нб.}$ тягового органа:

$$S_{нб} = W_0 + S_{сб}.$$

Усилие в сбегающей ветви $S_{сб}$ тягового органа в общем случае:

$$S_{сб} = (1{,}0...1{,}15) S_{min},$$

где S_{min} – минимальное натяжение тягового органа, Н.

В конкретном случае $S_{сб}$ можно определить суммированием всех сил, действующих на порожнюю ветвь цепи (рис. 2):

$$S_{сб} = S_{min} - W_{пор.г} + W_{пор.н}.$$

В конвейерах с высокими скребками при недостаточном натяжении цепи скребок отклоняется назад под действием силы сопротивления перемещению порции груза.

Минимальное допустимое натяжение, обеспечивающее устойчивость скребка, то есть допустимое отклонение его на угол [θ]=2…3°, пренебрегая массой скребка, можно определить из условия (см. рис. 2):

$$Wh_{ск} cos\theta \le S_{min} t sin\theta,$$

где W – сопротивление движению груза, находящегося перед скребком; $h_{ск}$ – плечо приложения силы W.

$$W = g(q_{гр} + q_ц) t_{ск} (\omega' cos\beta + sin\beta),$$ то

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

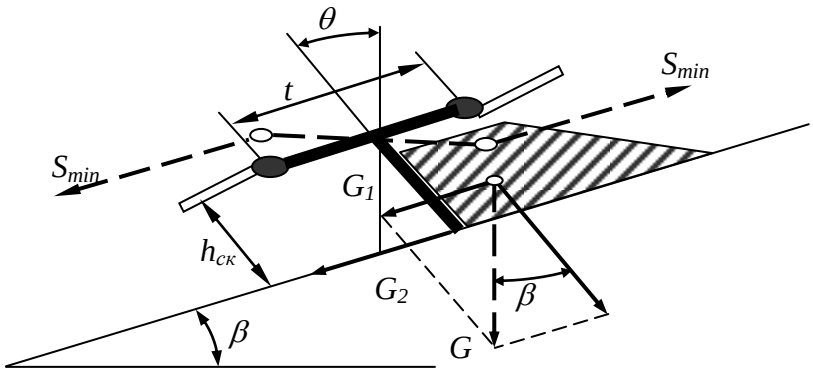


Рис. 2. Схема сил, действующих на скребок

$$S_{min} = g(q_{гр} + q_{ц})\left[(\omega' cos\beta + sin\beta)h_{ск}\right]\left(\frac{t_{ск}}{t}\right)tg\theta .$$

Здесь $t_{ск}$ и t – соответственно шаг чередования скребков и шаг цепи. Можно применить $t_{ск}$ равное (1…2)$b_{ск}$ или $t_{ск}$ равное (4, 6, 8 или 10)·t в зависимости от вида тяговой цепи.

9. Цепь подбирают по коэффициенту запаса прочности n относительно допустимой разрешающей нагрузки $[S_p]$.

При этом должно соблюдаться условие:

$$S_p<[S_p].$$

Расчетное разрушающее усилие в цепи, Н:

$$S_p = S_{min}[n],$$

где $[n]$ – коэффициент запаса прочности: для горизонтальных конвейеров не ответственного назначения 5…6; для конвейеров ответственного назначения и с наклонными участками 7…10.

Максимальное усилие в цепи, Н:

$$S_{max} = S_{нб} + S_д ,$$

где $S_д$ – динамическое усилие в цепи, Н.

Поскольку шаг цепи t неизвестен, то ориентировочно принимают $S_д$=$S_{нб}$. Тогда:

$$S_p = S_{max}[n] = 2 \cdot S_{нб}[n].$$

Зная нагрузку S_p, выбирают цепь и таким образом получают значение t.

Далее уточняют действующую в цепи динамическую нагрузку:

$$S_{дин} = \left[\frac{6}{t} \cdot \frac{q_{гр} + c' q_ц}{g} \cdot \left(\frac{\pi\upsilon}{z}\right)^2\right] g ,$$

где c' – коэффициент, учитывающий уменьшение приведенной массы движущихся частей конвейера, c'=2 при $L_к$<25 м; c'=1,5 при $L_к$=26…60 м; c'=1 при $L_к$>60 м; z – число зубьев приводной звездочки; t – шаг цепи.

Расчетное разрывное усилие:

$$S_p = S_{нб} + S_{дин}.$$

Проверка цепи заключается в уточнении коэффициента запаса прочности:

$$n = \frac{\lfloor S_p \rfloor}{S_p} \geq [n].$$

10. Далее подбирают электродвигатель, определяют передаточное число и компонуют привод. Редуктор и соединительные муфты выбирают аналогично ленточным и пластинчатым конвейерам согласно рекомендациям [7].

В случае применения конвейеров большой длины (более 100 м) желательно учитывать сопротивления, возникающие на переходных участках.

Выводы

Разработанные алгоритм и обозначенные особенности расчета горизонтально–наклонного скребкового конвейера с высокими перегородками позволяют выполнить расчет конвейера на стадии проектирования рассмотренного типа конвейеров для транспортирования сыпучих грузов в промышленности, в том числе угольной, машиностроительной, строительстве и др.

Список литературы

1. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия: Учеб. пособ. для вузов / А.И. Барышев, В.А. Будишевский, В.О. Гутаревич и др.; под общ. ред. В.О. Гутаревича. – Издание 2-е перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2017. – 679 с.
2. Курсовое и дипломное проектирование транспортирующих машин: Учеб. пособ. для вузов / А.И. Барышев, А.В. Закалов, В.Г. Стебляко и др. – Донецк: ДонНУЭТ, 2011. – 485 с.
3. Analysis of Scraper Conveyor Running Resistance

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

/ Coal Mine Machinery, 2009 [Online]. Available: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-MKJX200901003.htm
4. Матушкин, О.П. Конструктивные особенности современных скребковых транспортеров / О.П. Матушкин, Ю.Н. Матушкина // Сборник статей X Международной научно-практической конференции «Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации», 27 октября 2017 г., г. Пенза. – Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 66-69.
5. Ansari, D.M.D. Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink // Int. J. Eng. Sci. Technol. – 2010. – Vol. 2. – P. 1260-1267.
6. Albert, W. A. J. Uber Treibseile am Harz. Archive fur Mineralogie Geognosie Bergbau und Huttenkunde. –1838. – Vol. 10. – P. 34-215.
7. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: Учеб. пособ. для вузов / Под общ. ред. В.П. Кондрахина. – Издание 2-е перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2017. – 216 с.

V.F. Shavlak /Cand.Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE ALGORITHM AND CALCULATION OF THE HORIZONTAL INCLINE SCRAPER CONVEYOR WITH HIGH SCRAPERS

Background. *The solution to the problem of creating high-performance and reliable transport at the present stage of technical re-equipment of the industry requires, first and foremost, an objective assessment of its parameters, taking into account all factors affecting the efficiency of the use of this technical equipment. You cannot create technical means of transporting goods without proper and tested methodical material for their calculation and design. Scraper conveyors with high scrapers are widely used for transporting bulk cargo. Their design and upgrading need solving of many local problems: to calculate the parameters of the trough and scrapers, the resistance to the movement and tension of the traction body so that the scrapers work steadily without excessive deflections, to determine the drive capacity, etc. Therefore, the development of the algorithm for calculating the specified conveyor is an actual scientific problem.*

Materials and/or methods. *To a successful solution of individual tasks for these types of conveyors contribute the proceedings of scientific-research, design and educational institutes (Giprouglemash, Dongiprouglemash, Donetsk Mining Institute, A.A. Skochinsky Institute for Mining, Donetsk National Technical University, Moscow State Mining University and many others). The objective of this paper is to reduce the complexity of the designer's work in the choice of transport equipment for the specified operating conditions.*

Results. *The following interrelated problems solved: the choice of the speed of the traction body justificatied; an equation to define the estimated performance of the scraper conveyor given; by given performance the working width of the trough determined; the total resistance to the movement of the traction body taking in account the horizontal and inclined sections of the conveyor determined; the traction force on the drive sprocket calculated; the power of drive motor calculated; the effort of the traction body determined; the chain according to the safety factor chosen and the factor verified; the motor selected, gear ratio determined, and the drive assembled.*

Conclusion. *The algorithm and features of the calculation of horizontal incline scraper conveyor with high scrapers allow calculating at the design stage the considered type conveyors for transportation of bulk cargo in the industry, including coal, engineering, construction, etc.*

Keywords: *scraper conveyor, high scrapers, trough, reliability.*

Сведения об авторе
В.Ф. Шавлак
SPIN-код: 4837-7126
Author ID: 852557
Телефон: +380 (62) 301-07-78
Эл. почта: shavlak1@yandex.ua

Статья поступила 23.11.2017 г.
© В.Ф. Шавлак, 2017
Рецензент к.т.н., доц. В.О. Гутаревич

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 **5…8 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 телефону **+380 (66) 176-72-65** 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