ISSN 2518-1645 (print), 2518-1653 (online)
science.donntu.ru

ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЕСТНИК

№6 (6) 2016 г.



К 85-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора

Гуляева Владимира Георгиевича

НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета



Международный научно-технический журнал «Вестник ДонНТУ»

Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №303 от 06.08.2015

ISSN 2518-1645 (print), 2518-1653 (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Периодичность – 6 раз в год

Научные направления:
02.00 – Химические науки;
05.04 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;
05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение;
05.09 – Электротехника;
05.14 – Энергетика;
05.17 – Химическая технология;
08.00 – Экономические науки;
Подробная информация - http://vestnik.donntu.ru

Научный журнал «Информатика и кибернетика»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №307 от 06.08.2015

Периодичность – 4 раза в год

Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Научные направления:
01.01 – Математика;
05.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика;
05.12 – Радиотехника и связь;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
Подробная информация - http://infcyb.donntu.ru



Международный научно-технический журнал «International journal of innovative and information manufacturing technologies»

Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №308 от 06.08.2015

ISSN 2311-6765
Договор с РИНЦ от 19.02.2016 г. №82-02/2016

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
01.02 – Механика;
05.02 – Машиностроение и машиноведение;
05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы;
Подробная информация - http://iimt.donntu.ru

Научный журнал «Вестник Института гражданской защиты Донбасса»



Свид-во о регистрации в Министерстве информации ДНР от 08.11.2016 г. №02/1252 (print) и от 10.11.2016 г. №02/1268 (online)

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
05.12 – Радиотехника и связь;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
05.23 – Строительство и архитектура;
05.26 – Безопасность деятельности человека;
13.00 – Педагогические науки;
Подробная информация - http://vestnik.igzd.donntu.ru

ISSN 2415-7392 (print), 2415-7406 (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016
Включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР (приказ МОН ДНР №1134 от 01.11.2016 г.)

ВЕСТНИК ДОННТУ №6(6)'2016

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. (к.т.н., доц.)*

Редакционный совет:
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.)*
Гавриленко В.А. (д.э.н., проф.)*
Гуляев В.Г. (д.т.н., проф.)*
Гутаревич В.О. (к.т.н., доц.)*
Дедовец И.Г. (к.т.н., доц.)*
Еронько С.П. (д.т.н., проф.)*
Ковалев А.П. (д.т.н., проф.)*
Кондрахин В.П. (д.т.н., проф.)*
Кононенко А.П. (д.т.н., проф.)*
Кучер В.А. (д.э.н., проф.)*
Ларин А.М. (к.т.н., доц.)*
Морозова Л.Н. (к.т.н., доц.)*
Павлюков В.А. (к.т.н., доц.)*
Приседский В.В. (д.х.н., проф.)*
Толок А.В. (к.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: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58
Телефоны: +380 (62) 304-60-82
Эл. почта: vestnikdonntu@gmail.com
Интернет: vestnik.donntu.org

Вестник ДонНТУ
2016. №6(6)

ISSN 2518-1645 (print)
ISSN 2518-1653 (online)

Издается с января 2016 г.
Периодичность издания: 6 раз в год

Свидетельство о государственной регистрации №303 от 06.08.2015

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 №9 от 23.12.2016

Формат 60×84$^{1/8}$. Заказ 1216.
Тираж 100 экз. Печать:
Изд-во «Донецкая политехника», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Е.Л. Игнаткина
Динамические характеристики подвесного пути шахтной монорельсовой дороги 3

В.О. Гутаревич, В.П. Кондрахин
Снижение динамических нагрузок от действия подвесных монорельсовых дорог на крепь горных выработок 7

И.В. Косарев
Инновационные направления в создании горно-шахтного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности добычи угля 12

И.В. Косарев, А.В. Мерзников
Повышение производительности очистных комбайнов с вынесенной системой подачи 19

В.Г. Гуляев
Актуальность и проблемы создания автоматизированных струговых комплексов для безлюдной выемки пологих тонких угольных пластов Донецкого бассейна 24

В.Г. Гуляев
Способы повышения технического уровня насосных станций для механизированных крепей очистных комплексов 35

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А.Н. Поперечный, Н.А. Миронова
Кинетические закономерности процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое 44

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

М.А. Компаниец
Понятие устойчивого развития в аграрном секторе 53

ЮБИЛЕИ И ПЕРСОНАЛИИ

К 85-летию Владимира Георгиевича Гуляева 60
Память об учителе 62

ИНФОРМАЦИЯ

Требования к статьям, направляемым в редакцию 64

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

– Редакция журнала принимает к публикации и осуществляет рецензирование рукописей статей по химическим, техническим и экономическим наукам и следующим группам специальностей: 02.00 – Химические науки; 05.02 – Машиностроение и машиноведение; 05.04 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение; 05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение; 05.09 – Электротехника; 05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; 05.14 – Энергетика; 05.16 – Металлургия и материаловедение; 05.17 – Химическая технология; 08.00 – Экономические науки

VESTNIK DONNTU No.6(6)'2016

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. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*

Editorial council:
Bershadsky I.A. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Biryukov A.B. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Butuzova L.F. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Vusotsky Y.B. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Gavrilenko V.A. (Dr. Sci. (Econ.), Prof.)*
Gulyaev V.G. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Gutarevich V.O. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Dedovets I.G. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Eron'ko S.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kovalev A.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kondrahin V.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kononenko A.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kucher V.A. (Dr. Sci. (Econ.), Prof.)*
Larin A.M. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Mishchenko N.I. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Morozova L.N. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Pavlyukov V.A. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Prisedsky V.V. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Tolok A.V. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Chaltsev M.N. (Dr. Sci. (Eng.), 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,
(66) 029-44-30
E-mail: vestnikdonntu@gmail.com
Internet: vestnik.donntu.org

Vestnik DonNTU
2016. No.6(6)

ISSN 2518-1645 (print)
ISSN 2518-1653 (online)

Published since January, 2016
Publication frequency: 6 times a year

Certificate of State Registration
No.303 dated 06.08.2015

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.9 dated 23.12.2016

Format 60×84$^{1/8}$. Order 1216.
Circulation 100. Print:
Publishing house
"Donetsk Polytechnic", 2016

CONTENTS

TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION ENGINEERING

E.L. Ignatkina
The dynamic characteristics of mine suspended monorail 3

V.O. Gutarevych, V.P. Kondrakhin
Reduction of dynamic loads from suspended monorail tracks on mine working support 7

I.V. Kosarev
Innovative directions in mining equipment designing that provides higher efficiency of coal mining 12

I.V. Kosarev, A.V. Meznikov
Productivity increase of the shearers with remote supply system 19

V.G. Gulyaev
The relevance and challenges of creating automated plow systems for manless mining of flat thin coal seams of the Donetsk basin.....24

V.G. Gulyaev
Ways to improve the technical level of pumping stations for mechanized roof supports of the shearers 35

POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING

A.N. Poperechnyi, N.A. Myronova
Kinetic regularities of the process of fruit pits drying by infrared radiation in a vibro boiling layer 44

ECONOMICS AND MANAGEMENT

M.A. Kompaniyets
The concept of sustainable development in the agricultural sector 53

ANNIVERSARIES AND BIOGRAPHY

To the 85th anniversary of Vladimir Georgievich Gulyaev.....60
The memory of the teacher 62

INFORMATION

Requirements for the articles submitted to the Editorial office.....64

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, technical and economic sciences, and the following groups of specialties: 02.00 – Chemical Science; 05.02 – Mechanical engineering and engineering science; 05.04 – Power, Metallurgical and Chemical Engineering; 05.05 – Transport, Mining and Construction Engineering; 05.09 – Electrical Engineering; 05.11 – Instrument engineering, metrology and information-measuring instruments and systems; 05.14 – Energy; 05.16 – Metallurgy and materials science; 05.17 – Chemical Technology; 08.00 – Economics

УДК 622.625.6

Е.Л. Игнаткина
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВЕСНОГО ПУТИ ШАХТНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ

Установлена взаимосвязь между динамическими характеристиками подвесного монорельсового пути и конструкцией подвески для определения выгодного соотношения их параметров, обеспечивающего наилучшие динамические показатели монорельсовой дороги. Найдены эквивалентные коэффициенты жесткости подвески и определены собственные частоты колебаний монорельсового пути.

***Ключевые слова**: монорельсовый путь, жесткость подвески, собственная частота.*

Постановка проблемы

Подвесные монорельсовые дороги находят все большее применение в горной промышленности. Их конструкция позволяет перевозить грузы и пассажиров в подвижном составе по подвесному монорельсу, который расположен в верхней части выработки и не занимает полезное рабочее пространство.

Основные преимущества подвесных монорельсовых дорог заключаются в том, что они обеспечивают движение по разветвленным трассам со знакопеременным профилем и углами наклона до 45°. При этом масса подвижного состава достигает 32 т, что позволяет транспортировать крупногабаритное оборудование.

Однако во время эксплуатации подвесной монорельсовой дороги возникают динамические процессы в виде периодических колебаний и ударов, которые воздействуют на крепь горной выработки и уменьшают ее срок службы.

Анализ последних исследований и публикаций

В научных исследованиях по рельсовому транспорту [1-3] рассматриваются динамические процессы при движении экипажа по рельсовому пути, методы адаптивного управления, позволяющие автоматически настраивать показатели гашения энергии колебаний. В публикациях [4-6] рассмотрены вопросы применения канатных анкеров для монтажа шахтных подвесных монорельсовых дорог, современные технологии анкерного крепления и проведены расчеты параметров анкеров, служащих для подвешивания монорельсового пути к кровле горной выработки. Работы [7-10] посвящены снижению динамических нагрузок, возникающих во время движения шахтных подвесных монорельсовых дорог.

Анализ приведенных публикаций показывает, что исследования шахтных подвесных дорог не учитывают конструктивные особенности подвески монорельсового пути, а это не позволяет в полной мере использовать ранее полученные результаты. Данная работа является продолжением указанных исследований.

Цель (задачи) исследования

Цель настоящей работы заключается в определении взаимосвязи между динамическими характеристиками подвесного монорельсового пути и конструкцией подвески для установления выгодного соотношения их параметров, обеспечивающего наилучшие динамические показатели монорельсовой дороги.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи: составить расчетную схему подвески пути шахтной монорельсовой дороги; определить эквивалентный коэффициент жесткости и частоты колебаний подвески монорельса; установить взаимосвязь собственных частот монорельсового пути и параметров подвески.

Основной материал исследования

Для определения коэффициента жесткости подвески монорельса, выполненной из нескольких отрезков круглозвенных цепей, составим расчетную схему (рис. 1). На схеме обозначим: α_1, α_2, α_3 – углы установки отрезков цепей; C_1, C_2, C_3 – коэффициенты жесткости соответствующих отрезков цепей и элементов крепления.

При составлении расчетной схемы приняты следующие допущения: считаем, что коэффициент жесткости цепи определяет жесткость всего участка; нагрузки, воздействующие на монорельсовый путь, приводят к упругой деформации его подвесок; боковые колебания монорельсового пути ограничены. Здесь вариант *А* относится к подвеске на трех цепях, вариант *Б* – на двух цепях, а вариант *В* – на одной.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

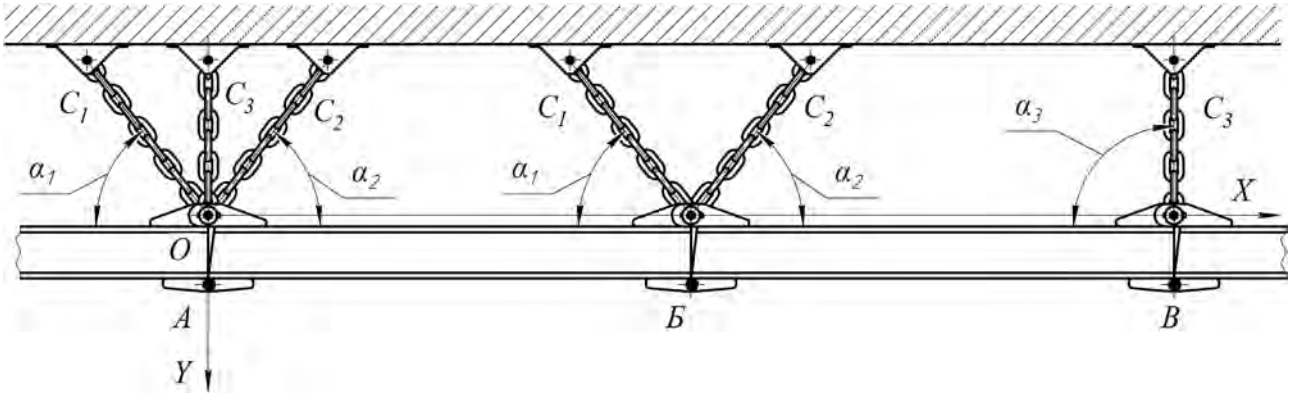


Рис. 1. Схема подвески пути шахтной монорельсовой дороги

Рассмотрим деформации δ_1, δ_2, δ_3 соответствующих отрезков цепей, которые происходят при смещении общей точки *O* (вариант *A*).

Относительно оси *x* имеем:

$$\delta_1 = x\ \cos\alpha_1,$$
$$\delta_2 = -x\ \cos\alpha_2,$$
$$\delta_3 = x\ \cos\alpha_3 = 0.$$

Относительно оси *y*:

$$\delta_1 = -y\ \sin\alpha_1,$$
$$\delta_2 = -y\ \sin\alpha_2,$$
$$\delta_3 = -y\ \sin\alpha_3 = x.$$

Уравнения движения вдоль осей *x* и *y*:

$$m\ddot{x} = -C_1 x\ \cos^2\alpha_1 - C_2 x\ \cos^2\alpha_2,$$
$$m\ddot{y} = -C_1 y\ \sin^2\alpha_1 - C_2 y\ \sin^2\alpha_2 - C_3 x,$$

где *m* – масса монорельсового пути, приходящаяся на один подвес.

На основании этого получим эквивалентные коэффициенты жесткости подвески монорельса относительно соответствующих осей координат:

$$C_x = C_1\cos^2\alpha_1 + C_2\cos^2\alpha_2,$$
$$C_y = C_1\sin^2\alpha_1 + C_2\sin^2\alpha_2 + C_3.$$

Частоты собственных колебаний подвески монорельса имеют вид:

$$\omega_x = \sqrt{C_x / m},$$
$$\omega_y = \sqrt{C_y / m}.$$

Для крепления монорельсового пути по варианту *Б* – эквивалентные коэффициенты жесткости подвески монорельса будут:

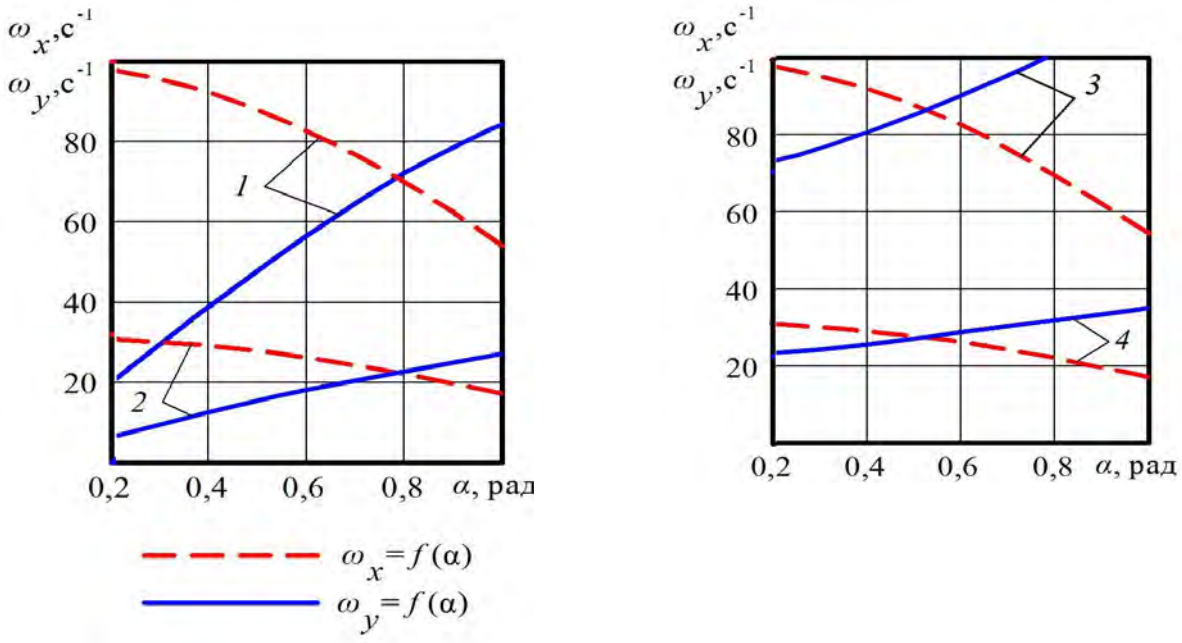
$$C_x = C_1\cos^2\alpha_1 + C_2\cos^2\alpha_2;$$
$$C_y = C_1\sin^2\alpha_1 + C_2\sin^2\alpha_2.$$

Проведем анализ полученных выражений. На рис. 2а показаны зависимости собственных частот монорельсового пути от параметров подвески стыка монорельса на двух цепях, а на рис. 2б – на трех. Коэффициенты жесткости подвесок, в первом приближении, принимались равными между собой – C_i. Аналогично принимались равными углы α_1 и α_2–α_i.

Из рис. 2а видно, что для подвески на двух цепях с увеличением углов α_1 и α_2 частота ω_x снижается, а частота ω_y – повышается. Для подвески с коэффициентами жесткости C_i=20000 кН/м при увеличении углов α_1 и α_2 от 0,1 до 1 рад частота колебаний ω_x уменьшается от 100 до 55 $с^{-1}$, а частота ω_y – увеличивается до 84 $с^{-1}$. Если уменьшить значения коэффициентов жесткости подвески до 2000 кН/м, то при таком же изменении углов ω_x – уменьшается с 32 до 18 $с^{-1}$, а ω_y – увеличивается до 28 $с^{-1}$. Однако, в зависимости от жесткости подвески, показатели частоты ω_x значительно отличаются, то есть при C_i=20000 кН/м ω_x понижается от 100 до 55 $с^{-1}$, а при C_i=2000 кН/м – от 32 до 18 $с^{-1}$, что составляет 57 % при α_i=0,1 рад и 31% при α_i= 1 рад. При коэффициенте жесткости C_i=20000 кН/м и α_i=0,8 рад значения частоты ω_y в 1,5 раза ниже при подвешивании монорельсового пути на двух подвесках, чем ее же значения при использовании трех подвесок. Показатели частоты ω_x уменьшаются в 3 раза при снижении коэффициента жесткости от 20000 до 2000 кН/м.

Аналогичное изменение частот происходит при использовании подвески на трех цепях (рис. 2б), где частота ω_x снижается абсолютно идентично подвеске, состоящей из двух цепей, а частота ω_y – повышается, но с другими значениями: при C_i=20000 кН/м повышается на 35 %, а если для подвески использовать материал с жестко-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



а б

Рис. 2. Графические зависимости собственных частот монорельсового пути от параметров подвески: *а* – на двух цепях; *б* – на трех цепях; *1*, *3* – C_i=20000 кН/м; *2*, *4* – C_i=2000 кН/м

стью 2000 кН/м, то ω_y изменится всего лишь на 12 %.

Выводы

На основании проведенных исследований определены зависимости эквивалентных коэффициентов жесткости подвески монорельсового пути от способа его крепления в горной выработке. Это позволило найти значения частот собственных колебаний монорельсового пути, которые составляют от 22 до 100 $с^{-1}$. Анализ результатов показал, что при коэффициенте жесткости C_i=20000 кН/м и α_i=0,8 рад значения частоты в 1,5 раза ниже при подвешивании монорельсового пути на двух подвесках, чем ее же значения при использовании трех подвесок.

Установленная взаимосвязь собственных частот монорельсового пути и параметров подвески позволяет обоснованно находить собственные частоты колебаний отдельных элементов подвесной монорельсовой дороги и моделировать динамические процессы, возникающие во время ее движения для определения выгодного соотношения параметров, обеспечивающего наилучшие динамические показатели дороги.

Список литературы

1. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / В.Ф. Ушкалов [и др.]. – К.: Наукова думка, 1989. – 240 с.
2. Говоруха В.В. Механика взаимодействия рельсового пути, подвижных транспортных средств и смежных устройств: монография. – Донецк: Лира, 2006. – 448 с.
3. Шахтарь П.С. Рудничные локомотивы. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
4. Еременко В.А. Современные технологии анкерного крепления / В.А. Еременко, Е.А. Разумов, Д.Ф. Заятдинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга. - 2012. –№12. – С. 38-45.
5. Применение канатных анкеров для монтажа монорельсовых подвесных дорог / П.В. Гречишкин [и др.] // Уголь Украины. – 2013. – №4. – С. 25-26.
6. Хлусов А.Е. К расчету параметров анкеров, служащих для подвешивания монорельсовой дороги к кровле горной выработки / Сб. науч. тр. ВНИМИ / под ред. Д.В. Яковлева. – СПб.: ВНИМИ, 2012. – С. 317-322.
7. Гутаревич В.О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог: монография. – Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. – 206 с.
8. Гутаревич В.О. Динамическая нагруженность монорельсовых тележек и подвесного пути / Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – №4. – С. 85-88.
9. Gutarevych V.O. Mathematical modeling of end carriage motion on the overhead monorail / Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No.5. – P. 51-55.
10. Gutarevych V. Dynamic model of the movement of mine suspended monorail / Transport Problems. – 2014. – Vol.9, Issue 1. – P. 13-19.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

E.L. Ignatkina
Donetsk National Technical University (Donetsk)

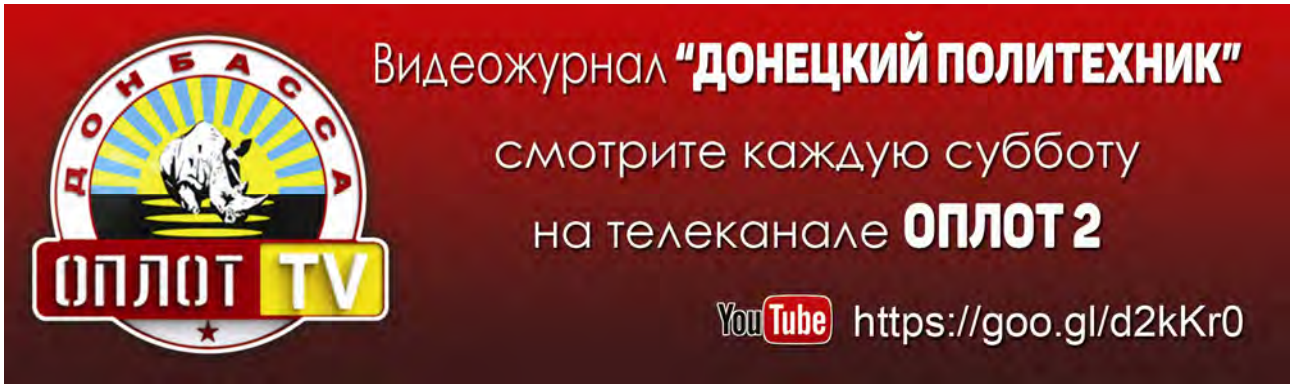
THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MINE SUSPENDED MONORAIL

Background. *During the operation of mine suspended monorail arise the dynamic processes in the form of periodic oscillations and bumps, which affect its elements and mine workings support, and reduce their service life. The reduction of these periodic oscillations and bumps is a topical scientific and technical problem.*
Materials and/or methods. *The objective of this paper is to determine the relationship between the dynamic characteristics of the suspended monorail and the suspension design to establish a favorable proportion of their parameters that ensure the best overall dynamic performance of the monorail. For this purpose, the following tasks solved: a design scheme of spatial suspension of the mine monorail created; equivalent factors of stiffness and frequency of the monorail suspension oscillations defined; the correlation of eigenfrequencies of a monorail and suspension parameters established.*
Results. *The methodology for determining equivalent stiffness factors of a spatial suspension monorail in mine workings proposed. The options of the joints suspension of a monorail on two and three chains as well as on one chain considered. The dependencies of equivalent stiffness factors of the monorail suspension on its fixation method in mine workings obtained. Based on this, the values of the eigenfrequencies of a monorail obtained, which are from 22 to 100 s^{-1}. Analysis studies have shown that the lowest values of the oscillation eigenfrequencies of a monorail track can be obtained for suspension with three chains, each having a stiffness factor 2000 kN/m.*
Conclusion. *Established interrelation of eigenfrequencies of a monorail and the parameters of suspension allows finding the eigenfrequencies of the individual elements of a suspended monorail and simulate dynamic processes that occur during its movement, to determine a favorable proportion of the parameters that provide the best dynamic performance of the monorail.*

Keywords: *monorail, suspension stiffness, eigenfrequency.*

Сведения об авторе
Е.Л. Игнаткина
Телефон: +380 (50) 930-92-72
Эл. почта: sel_post@mail.ru

Статья поступила 01.07.2016 г.
© Е.Л. Игнаткина, 2016
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин



ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 622.625.6

В.О. Гутаревич /к.т.н./, В.П. Кондрахин /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОТ ДЕЙСТВИЯ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ НА КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Разработана математическая модель, описывающая колебательные процессы, возникающие во время движения подвижного состава по стыкам подвесного монорельсового пути. Установлены оптимальные параметры подвески монорельса, позволяющие снизить динамические нагрузки на крепь горной выработки. Предложено устройство для снижения динамических нагрузок в подвеске монорельса.

***Ключевые слова**: горная выработка, монорельсовый путь, подвижной состав, подвеска, динамические нагрузки.*

Постановка проблемы

Эксплуатация шахтных подвесных монорельсовых дорог неизбежно связана с дополнительными нагрузками, действующими на крепь горных выработок. Во время движения подвижного состава по подвесному монорельсу, кроме статических сил, к верхнякам крепи передаются и динамические силы. Эти силы приводят к колебаниям подвижного состава, монорельсового пути, а также крепи. Колебания крепи вызывают смещения горных пород, что снижает их устойчивость и приводит к уменьшению поперечного сечения выработок. В результате повышается аварийность, снижается эффективность и безопасность работы шахтных подвесных монорельсовых дорог. Поэтому для горных предприятий проблема снижения динамических нагрузок на монорельсовый путь и крепь является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций

Вопросы повышения эффективности подвесных монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке рассмотрены в работах [1,2]. Авторами предложены ресурсосберегающие технологические схемы комплексного использования адаптивных возможностей подвесных дизельных монорельсовых дорог для интенсификации подготовительных работ, повышения темпов подготовки и отработки выемочных столбов при разработке тонких угольных пластов. Исследования [3-7] посвящены современным технологиям подвешивания монорельсовой дороги к кровле горной выработки и обоснованию параметров анкеров. Установлено, что их применение позволяет снизить материалоемкость крепи, сроки монтажа и трудоемкость транспортных работ. Динамические процессы, возникающие во время эксплуатации шахтной подвесной монорельсовой дороги, рассмотрены в работах [8,9]. Данная статья является продолжением указанных исследований.

Цель (задачи) исследования

Цель настоящей работы заключается в оптимизации параметров монорельсового пути и подвижного состава для установления выгодного их соотношения, обеспечивающего наилучшие динамические характеристики шахтной подвесной монорельсовой дороги.

Для реализации указанной цели решены следующие задачи: составлена расчетная схема воздействия подвижного состава на подвеску монорельсового пути; разработана математическая модель, описывающая колебательные процессы, возникающие во время движения подвижного состава по стыкам монорельса; установлены критерии оптимизации и определены оптимальные параметры подвески монорельсового пути, позволяющие снизить динамические воздействия на крепь горной выработки. При решении указанных задач принимались следующие допущения: боковое раскачивание монорельса исключалось за счет применения растяжек; контакт колес ходовых тележек с монорельсом считался постоянным, скорость движения подвижного состава V_n принималась постоянной.

Основной материал исследования

Рассмотрим процесс воздействия на крепь горной выработки динамических нагрузок, возникающих во время движения подвижного состава по стыкам монорельсового пути в местах их подвески. Расчетная схема динамического воздействия подвижного состава на подвеску

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

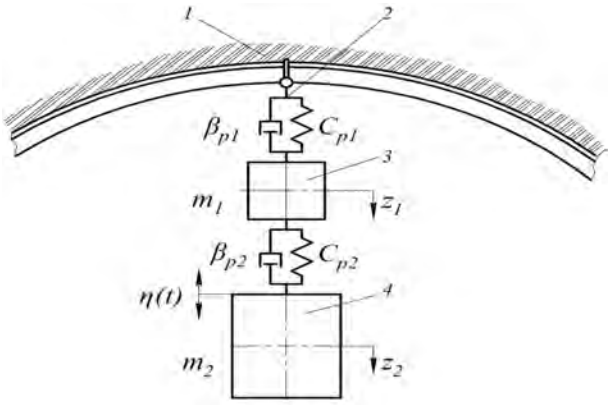


Рис. 1. Расчетная схема динамического воздействия подвижного состава на подвеску монорельсового пути: *1* – кровля горной выработки; *2* – подвеска монорельса; *3* –монорельсовый путь; *4* – подвижной состав

монорельсового пути показана на рис. 1. На схеме обозначено: m_1, m_2 – массы монорельса и подвижной единицы состава, приходящиеся на одну подвеску монорельсового пути, соответственно; z_1, z_2 – координаты центров тяжести масс m_1 и m_2, соответственно; C_{p1}, β_{p1} – соответственно коэффициенты жесткости и вязкого трения подвески монорельсового пути; C_{p2}, β_{p2} – аналогично коэффициенты жесткости и вязкого трения ходовой тележки; $\eta(t)$ – возмущения от монорельсового пути, воздействующие на ходовую тележку подвижного состава.

При движении подвижного состава по стыку монорельсового пути возмущения $\eta(t)$, воздействующие на массу m_2, могут быть представлены в виде одиночной неровности, повторяющейся периодически:

$$\eta(t)=\frac{1}{2}\eta_{0S}\left(1-\cos 2\pi\frac{x}{l_{0S}}\right),$$

где η_{0S}, l_{0S} –высота и длина неровности, образуемой при движении ходовой тележки по стыку монорельсового пути, соответственно; x – пройденный путь за время t.

Подобный вид возмущений широко используется при исследовании взаимодействия колеса с рельсовыми стыками для железнодорожного транспорта [10,11] и довольно точно соответствует стыкам (соединениям) секций монорельса. Как функция пройденного пути $x=V_nt$ указанная неровность для одиночного стыка монорельса (при η_{0S}=0,005 м, l_{0S}=0,3 м) представлена на рис. 2.

Под воздействием на массу m_2 возмущений $\eta(t)$ за счет деформации подвески возникают колебания и динамические силы, передающиеся на подвижной состав, а также крепь горной выработки. Согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 1, указанные колебания описываются следующими уравнениями:

$$\begin{cases} m_1\ddot{z}_1+\beta_{p1}\dot{z}_1+\beta_{p2}(\dot{z}_1-\dot{z}_2)+C_{p1}z_1+ \\ \quad +C_{p2}(z_1-z_2)=0; \\ m_2\ddot{z}_2+\beta_{p2}(\dot{z}_2-\dot{z}_1)+C_{p2}(z_2-z_1)= \\ \quad =\beta_{p2}\dot{\eta}(t)+C_{p2}\eta(t). \end{cases}$$

Графические зависимости амплитуд смещений z_1 и z_2, полученные на основании решения этих уравнений, представлены на рис. 3. При этом принимали значения входящих параметров, характерные для большинства современных шахтных подвесных монорельсовых дорог: m_1=0,2 т; m_2=4 т; η_{0S}=0,005 м, l_{0S}=0,3 м и V_n=3 м/с. Усилие в подвеске монорельсового пути F_{kr1} и усилие в подвеске ходовой тележки F_{kr2} находили следующим образом:

$$F_{kr1}=g(m_1+m_2)+C_{p1}z_1+\beta_{p1}\dot{z}_1;$$
$$F_{kr2}=gm_2+C_{p2}(z_2-z_1)+\beta_{p2}(\dot{z}_2-\dot{z}_1).$$

Из рис. 3 видно, что для разных значений параметров подвеса колебания происходят с различными амплитудами, частотами, также темпами затухания. Если C_{p1}=C_{p2}=7000 кН/м и β_{p1}= =β_{p2}=15 кН·с/м (рис. 3а), то по абсолютной величине z_1 достигает до 6,1 мм, а z_2 – до 12 мм. Кроме того, наибольшее усилие в подвесе F_{kr1} составляет 80,2 кН, а усилие в подвеске тележки F_{kr2} принимает значение – 77,3 кН.

Как показано на рис. 3б, при C_{p1}=2600 кН/м и C_{p2}=7000 кН/м, β_{p1}=50 кН·с/м и β_{p1}=15 кН·с/м имеем наибольшее значение z_1 – 12 мм, а z_2 –

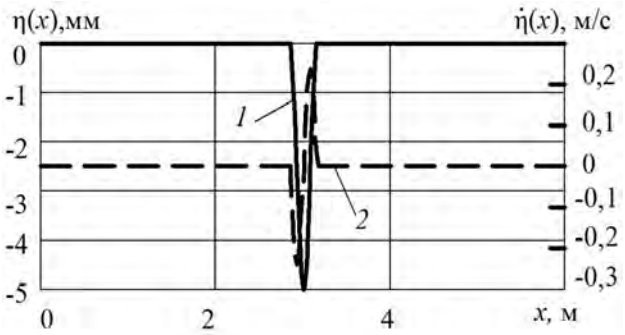
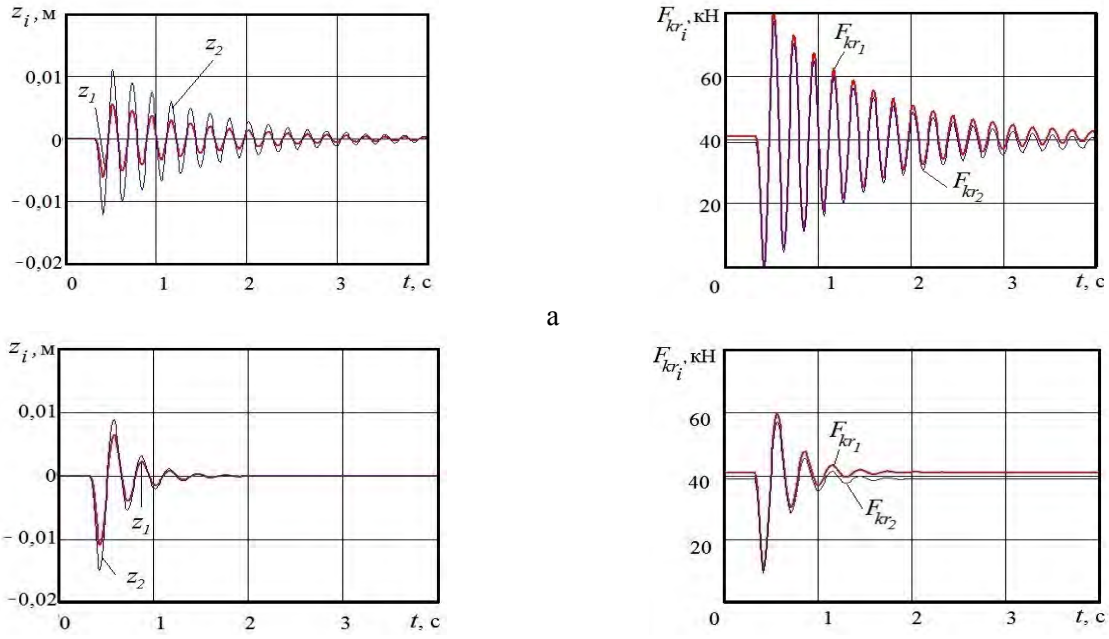


Рис. 2. Возмущения от неровности, образуемой во время движения ходовой тележки по стыку секций монорельса: x – пройденный путь: *1* – вертикальные возмущения; *2* – производная от вертикальных возмущений

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



а

б

Рис. 3. Графические зависимости $z_1=f(t)$, $z_2=f(t)$, $F_{kr1}=f(t)$, $F_{kr2}=f(t)$ при:
а – $C_{p1}=C_{p2}=7000$ кН/м; $\beta_{p1}=\beta_{p2}=15$ кН·с/м; *б* – $C_{p1}=2600$ кН/м, $C_{p2}=7000$ кН/м, $\beta_{p1}=50$ кН·с/м, $\beta_{p2}=15$ кН·с/м

17 мм. При этом наибольшие усилия соответственно составляют – 59,6 и 57 кН. В последнем случае наибольшие нагрузки F_{kr1} снижаются более чем в 1,35 раза.

Следовательно, изменяя значения C_{p1}, C_{p2} и β_{p1}, β_{p2}, возможно управлять динамическими нагрузками, воздействующими на подвес монорельсового пути, а также крепь горной выработки. Значения этих параметров, при которых F_{kr1} принимает минимальное значение, следует считать оптимальным, при этом вертикальные перемещения, возникающие в подвеске, должны не превышать допускаемых значений f_{don}.

В качестве критериев (функций цели) оптимальности следует принять динамические нагрузки в подвеске монорельсового пути, а также вертикальные перемещения, которые возникают во время движения подвижного состава.

В общем случае математическую модель оптимизации параметров подвеса монорельсового пути можно записать в виде:

$$\begin{cases} \overline{X}_{onm}\{C_{p1}, C_{p2,}\, \beta_{p1}, \beta_{p2}\} \\ \overline{C}\{m_1, m_2\, V_n, \eta_{OS}, l_{OS}\} \\ F_{kr1} = F(X, C) \rightarrow \min \\ f_{\delta 1} \le f_{don} \end{cases},$$

где $\overline{X}_{onm}$ – вектор параметров подвеса монорельсового пути, соответствующий оптимальному значению целевой функции $F_{kr1}=F(X,C)$; $\overline{X}$ – вектор параметров подвеса; $\overline{C}$ – вектор констант, не зависящих от параметров подвеса; $f_{\delta i}$ – деформация подвеса под воздействием статических и динамических сил, которые возникают во время движения подвижного состава по монорельсу: $f_{\delta 1}=z_1+\delta_1$, где δ_1 – деформация подвески от нагрузки $(m_1+m_2)g$, прикладываемой статически, равная $\delta_1=(m_1+m_2)g/C_{p1}$.

Согласно нормативным документам для шахтных подвесных монорельсовых дорог прогиб пути должен быть $f_{\delta 1} \le L_s/200$, где L_s – длина секции монорельсового пути. Для стандартной секции длиной $L_s=3$ м прогиб составляет 15 мм, поэтому указанное значение принимаем в качестве ограничения деформации монорельсового пути в месте его подвески и учитываем при проведении оптимизации параметров.

Оптимизацию динамических процессов проводили методом последовательных приближений. При этом на каждом последующем приближении определяли обобщенный критерий и находили значения оптимизируемых параметров, обеспечивающих минимальное значение критерия.

На основании результатов проведенной оптимизации подвеса монорельсового пути и ходовой тележки получены следующие значения: $C_{p1}=5060$ кН/м; $C_{p2}=4070$ кН/м; $\beta_{p1}=\beta_{p2}=50$ кН·с/м. При этом наибольшая нагрузка на подвес составляет $F_{kr1}=54{,}2$ кН. Таким образом, применение подвеса с демпфирующим устройством, имеющим оптимальные параметры, позволяет

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

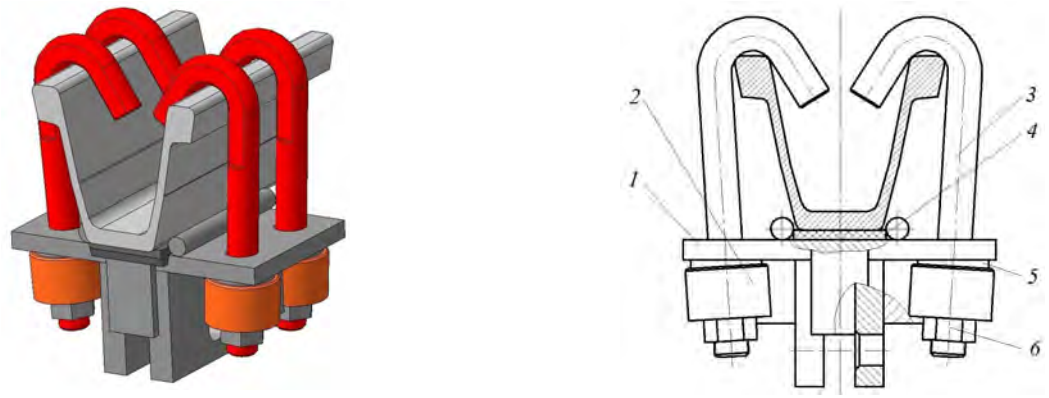


Рис. 4. Общий вид (*слева*) и конструкция (*справа*) подвеса для монорельсового пути:
1 – корпус; *2* – упругодемпфирующее устройство; *3* – крепежный болт;
4 – амортизирующая вставка (прокладка); *5* – косая шайба; *6* – гайка

снизить динамические нагрузки более чем в 1,5 раза. Проведенные исследования позволили разработать способ подвески монорельсового пути в горной выработке (патенты UA109446C2 от 27.08.2013, UA110136C2 от 25.11.2015). Общий вид подвеса, позволяющего реализовать указанный способ и установленные параметры, приведен на рис. 4.

Подвес закрепляется к арочной крепи и служит опорой для подвесного монорельсового пути. В его состав входят тарельчатые пружины и плоские шайбы, располагаемые во втулке и фиксируемые стопорным кольцом. Втулки присоединяются к нижней части корпуса подвеса, который прикрепляется к верхняку арочной крепи крепежными болтами или хомутами. К проушинам подвеса с помощью пальца со шплинтом присоединяется круглозвенная цепь, поддерживающая монорельсовый путь. При этом между корпусом и профилем крепи располагаются амортизирующая вставка из податливого материала и металлический ограничитель сжатия высотой, равной половине толщины вставки в недеформируемом состоянии.

Таким образом, возникающие во время эксплуатации подвесной монорельсовой дороги вертикальные колебания пути воспринимают тарельчатые пружины и амортизирующие вставки, которые обеспечивают энергопоглощение ударов и гашение периодических колебаний.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработана математическая модель вертикальных колебаний монорельсовой дороги, которая позволяет установить взаимосвязь между параметрами подвижного состава и динамическими нагрузками, действующими в подвеске. В результате получены значения деформации монорельсового пути и определены динамические нагрузки, воздействующие на крепь горной выработки.

2. Выбраны критерии оптимальности и разработана математическая модель оптимизации параметров подвеса монорельсового пути. Для условий, характерных для большинства современных шахтных подвесных монорельсовых дорог, установлено, что при коэффициентах жесткости подвески монорельсового пути 5060 кН/м, ходовой тележки подвижного состава 4070 кН/м, а также их коэффициенте вязкого трения 50 кН·с/м динамические нагрузки на крепь горной выработки принимают минимальные значения.

3. Предложено устройство для монорельсового пути, позволяющее уменьшить указанные нагрузки более чем 1,5 раза, что дает возможность повысить устойчивость горных выработок, эффективность и безопасность работы шахтных подвесных монорельсовых дорог.

Список литературы

1. Ширин Л.Н. Повышение эффективности работы монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке: монография / Л.Н. Ширин, В.А. Расцветаев, А.И. Коваль – Днепропетровск: НГУ, 2014. – 144 с.
2. Расцветаев В.А. Дополнительные нагрузки от действия подвесных монорельсовых дорог на арочное крепление выработок в условиях шахт Западного Донбасса // Геотехническая механика. – 2014. – №117. – С. 53-59.
3. Ногих В.Р. Взаимодействие подвесных транспортных средств с породами и обеспечение безопасности и устойчивости горных выработок // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2015. – Вып.4. – С. 65-75.
4. Применение канатных анкеров для монтажа монорельсовых подвесных дорог / П.В. Гречишкин [и др.] // Уголь Украины. – 2013. – №4. – С. 25-26.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

5. Chanda E.K. A computer simulation model of a monorail-based mining system for decline development / E.K. Chanda, B. Besa // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2011. – Vol.25, Issue 1. – P. 52-68.
6. Grujić M. Difficulties with transportation of long and heavy supplies in coal mines / M. Grujić, D. Kuzmanović // Journal Transport and Logistic. – 2002. – Vol.3, Issue 5. – P. 27-33.
7. Tokarczyk J. Migration of computational models in the virtual prototyping of complex mechanical systems // Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science. – 2012. – Vol.II. – P. 1334-1337.
8. Гутаревич В.О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог: монография. – Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. – 206 с.
9. Gutarevych V. Dynamic model of the movement of mine suspended monorail // Transport Problems. – 2014. – Vol.9, Issue 1. – P. 13-19.
10. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / В.Ф. Ушкалов [и др.]. – К.: Наукова думка, 1989. – 240 с.
11. Говоруха В.В. Механика взаимодействия рельсового пути, подвижных транспортных средств и смежных устройств: монография. – Донецк: Лира, 2006. – 448 с.

V.O. Gutarevych /Cand. Sci. (Eng.)/, V.P. Kondrakhin /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

REDUCTION OF DYNAMIC LOADS FROM SUSPENDED MONORAIL TRACKS ON MINE WORKING SUPPORT

Background. *During the rolling stock movement on a suspended monorail, in addition to the static gravity forces of these elements of roads, dynamic forces are transmitted to the mine working support. These forces cause the displacement of rocks, which lowers their stability and leads to the reduction of the cross section of workings. The result is increased accidents, reduced efficiency, and safety of suspended monorail tracks. Therefore, for mining companies the problem of reducing dynamic loads on the monorail track and the support is relevant.*
Materials and/or methods*. The objective of this paper is to optimize parameters of the monorail track and rolling stock to establish proportions that provide the best dynamic performance of a suspended monorail track. For this purpose, the following tasks solved: a design scheme of dynamic effects of rolling stock on the monorail track suspension and mining supports created; a mathematical model describing oscillatory processes arising during rolling stock movement on the joints of the monorail developed; the optimization criteria were chosen and optimal parameters of the monorail track suspension defined, allowing to reduce the dynamic effects on mine working support.*
Results. *The mathematical model of optimization of parameters of a monorail track suspension developed. It is found that, for conditions typical of the majority of mine suspended monorail tracks, with the stiffness coefficient of a suspended monorail track 5060 kN/m, the undercarriage of the rolling stock 4070 kN/m, and their coefficient of viscous friction 50 kN·s/m, dynamic loading on the mine working support has the minimum value. The device for a monorail track allowing reduction of these loads more than 1.5 times proposed.*
Conclusion. *The obtained results will allow establishing parameters of a monorail track, reducing the dynamic loads from rolling stock on mining supports, increasing the stability of mine workings, efficiency and safety of mine suspended monorail tracks.*

Keywords*: mine working, monorail track, rolling stock, suspension, dynamic loads.*

Сведения об авторах

В.О. Гутаревич

SPIN-код:	6436-6484
Author ID:	55633624800
Телефон:	+380 (62) 301-08-54
Эл. почта:	viktor.gutarevich@mail.ru

В.П. Кондрахин

SPIN-код:	9628-3575
Author ID:	6506839592
Телефон:	+380 (62) 301-08-28
Эл. почта:	vkondrakhin52@mail.ru

Статья поступила 27.10.2016 г.
© В.О. Гутаревич, В.П. Кондрахин, 2016
Рецензент д.т.н., проф. О.Е. Шабаев

УДК 622.232

И.В. Косарев
ГУ «Донецкий научно-исследовательский проектно-конструкторский институт комплексной механизации шахт» (Донецк)

ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СОЗДАНИИ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Рассмотрены новые направления в создании горно-шахтного оборудования, обеспечивающего повышение качества добываемого угля и увеличение нагрузок на очистные забои.

***Ключевые слова**: уголь, очистной комбайн, механизированная крепь, бункер-конвейер.*

Постановка проблемы

Энергетическая безопасность каждого государства определяется потенциалом существующих энергоносителей, среди которых углеводородные виды топлива, такие как нефть, газ и уголь, в большинстве странах и до настоящего времени остаются приоритетными источниками энергии.

Этот факт объясняется не только отсутствием альтернативных и потенциальных источников, но и неэффективностью использования во многих случаях солнечной и гидравлической энергии, а также определенными рисками, связанными с освоением атомной энергетики.

Анализ мирового потребления энергии свидетельствует о том, что на протяжении многих десятилетий уголь устойчиво занимает второе место. Несмотря на то, что нефть остается приоритетным источником энергии, с 2000 г. просматривается устойчивая тенденция в перераспределении общего энергетического баланса в пользу угольной энергетики (рис. 1).

Анализ последних исследований и публикаций

В Донецком регионе основным источником энергии был и остается уголь. Основные промышленные запасы угля в Донбассе сосредоточены в пластах мощностью от 0,7 до 2 м. Среднединамическая мощность разрабатываемых пластов составляет 1,15 м. В тонких пластах мощностью менее 1,2 м находится более 70 % запасов угля. На протяжении последних десятилетий наблюдается устойчивая тенденция к снижению среднединамической мощности угольных пластов, что объясняется экономической целесообразностью отработки, в первую очередь, пластов средней мощности [1,2].

Отработка тонких пластов [3,4], как правило, осуществляется с присечкой боковых пород из-за несоответствия очистной техники мощности пласта, что является одним из основных факторов увеличения на 8-10 % зольности добываемого угля по шахтам Донецкого бассейна.

Вторым источником увеличения зольности является обрушение пород кровли в лаве и на сопряжении «лава-штрек», что на 2-3 % увеличивает зольность добываемого угля.

Третьей причиной засоренности угля породой является совместное транспортирование угля из очистных забоев и горной массы от проведения ремонта и перекрепления горных выработок. При этом зольность угля увеличивается еще на 3-4 %.

Таким образом, при средней пластовой зольности по всем угледобывающим предприятиям – 23 %, средняя зольность добываемого угля по шахтам Донбасса в настоящее время составляет 38 %.

Затраты на транспортировку находящейся в объеме горной массы породы, обогащение угля, интенсивный износ оборудования ставят вопрос об экономической целесообразности работы некоторых шахт, работающих с такими показателями по качеству угля.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является минимизация габаритных параметров забойных машин с

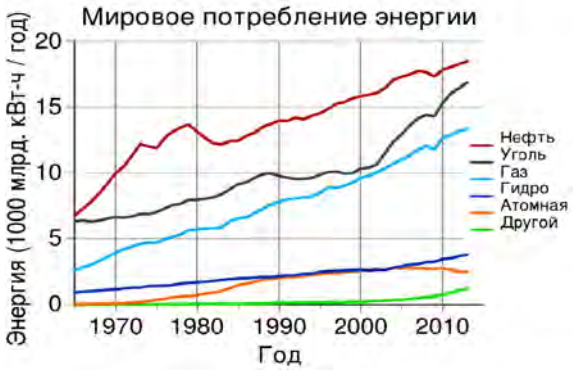


Рис. 1. Баланс мирового потребления энергии

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

их взаимной адаптацией в составе очистного комплекса, обеспечивающего отработку тонких пластов мощностью 0,8 м без присечки боковых пород, а также внедрение на угольных предприятиях технико-технологических мероприятий, направленных на улучшение качества угля за счет разделения угольных и породных потоков в общешахтной транспортной линии.

Основной материал исследования

В результате проведенных исследований горно-геологических условий пластов с промышленными запасами угля, сосредоточенными в диапазоне метровой мощности, а также обобщения опыта эксплуатации существующего забойного оборудования установлено, что объемы присекаемых боковых пород зависят не только от геологической мощности, но и от условий залегания и геологических нарушений угольных пластов.

Волнистая гипсометрия и геологические нарушения в виде русловых размывов с утонением пласта, мелкоамплитудных тектонических подвижек, образующих уступы в кровле и почве, устанавливают дополнительные требования по вписываемости в тонкий пласт не только по геометрическим размерам оборудования, определяющим поперечную увязку забойных машин в составе очистного комплекса, но и длине очистного комбайна по жесткой базе (корпуса или портала) и расстоянию между исполнительными органами.

Исследованиями установлено, что только единичные (порядка 8-10 %) угольные пласты в Донбассе не имеют явно выраженных нарушений, а существующие очистные комбайны по своим конструктивным параметрам не обеспечивают работу в данных условиях без присечки боковых пород.

В условиях полного отсутствия финансовой поддержки на техническое переоснащение и на покрытие себестоимости перед угольными предприятиями поставлена задача по достижению рентабельных показателей, как за счет увеличе-

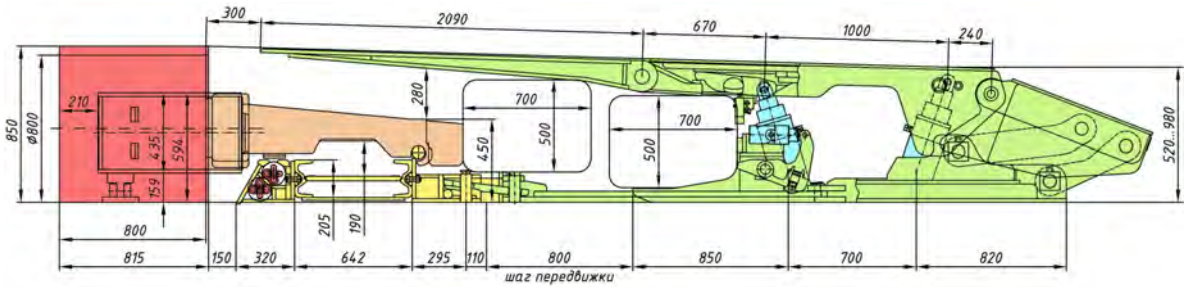


Рис. 2. Комплекс для отработки пластов мощностью 0,8-1,1 м

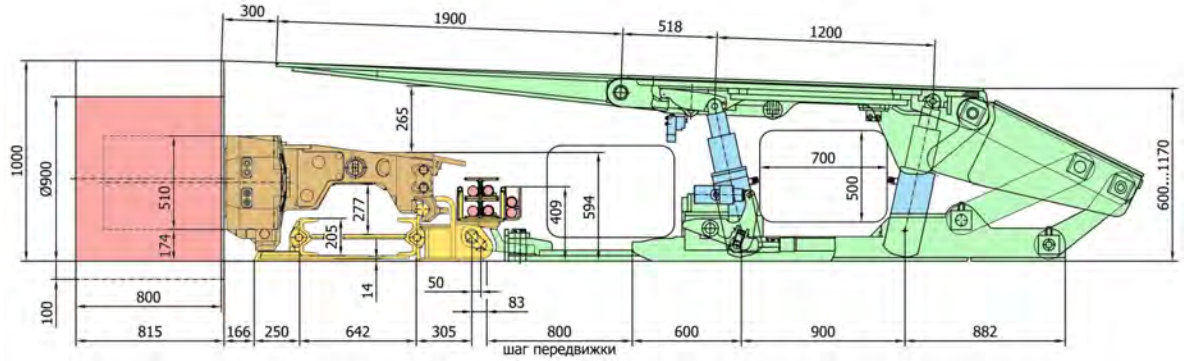


Рис. 3. Увязка комплекса с УКД200-500

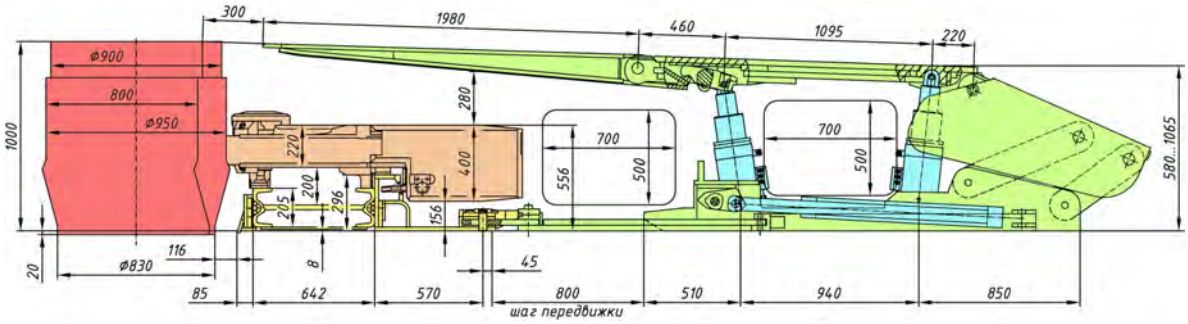


Рис. 4. Увязка комплекса с КА200

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

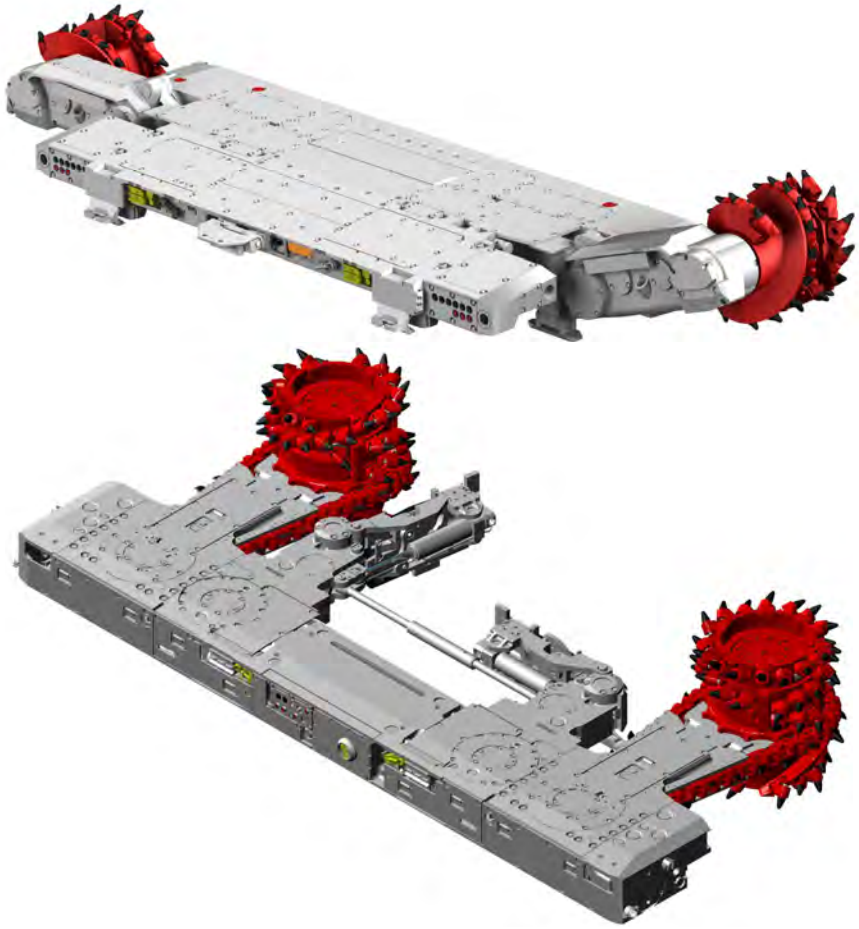


Рис. 5. Комбайн очистной УКД200-250 (*сверху*) и КА200 (*снизу*)

ния добычи угля, так и повышения его качества.

Решение данных вопросов невозможно без внедрения новых технологий и комплексной механизации процессов добычи угля.

В этом направлении ГУ «Донуглемаш» выполняет ряд работ по созданию нового горношахтного оборудования, которое позволит не только повысить эффективность производства добычи угля, но и обеспечить рентабельную работу угольных предприятий.

Решение проблемы, связанной с увеличением зольности от присечки боковых пород и засоренности угля в результате вывалообразований в лаве, реализуется институтом за счет создания очистного комбайнового комплекса для отработки пластов мощностью 0,8-1,1 м (рис. 2). За последние 15 лет Донгипроуглемашем создан ряд очистных комплексов [5] для отработки тонких пластов на базе механизированных крепей КД80, КД90, ДМ. ДТ в составе с очистными комбайнами УКД200-250, УКД200-500, КА200, УКД400 (рис. 3 и 4).

Получен большой практический опыт эксплуатации данного оборудования, обеспечивающего отработку пластов с вынимаемой мощностью 0,9-1,05 м. Несмотря на достигнутые результаты, как правило, при геологической мощности пласта 0,8-0,85 м осуществлялась присечка боковых пород до 20 см.

Секции крепи планируется оснастить системой гарантированного дораспора, что обеспечит снижение объемов вывалообразований пород кровли, увеличение нагрузок на лаву в результате сокращения простоев, а также повышение качества угля за счет снижения его засоренности породой.

Комплексное решение вопросов при создании нового очистного комбайнового комплекса и его внедрение на угольных предприятиях, отрабатывающих тонкие пласты, обеспечит снижение зольности на 10-13 % за счет сокращения или полной ликвидации присечек боковых пород и уменьшения объемов вывалообразований в лаве и на сопряжении с примыкающими выработками.

Качество добываемого угля определяется не только технико-технологическими решениями и организацией работ на добычном участке, но и существенно зависит от его засорения породой, поступающей в общешахтную транспортную линию из подготовительных забоев.

Работа существующих комплексов в диапазоне метровой мощности определяется взаимной увязкой забойных машин (крепь, конвейер, ком-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

байн) и зависит от высоты корпуса комбайна в зоне перекрытия крепи, обеспечения требуемого (250-300 мм) технологического зазора для прохода комбайна под крепью, строительной высоты секций, исключающей их посадку на «жестко» при работе в минимальной мощности.

Целью создания нового очистного комплекса является разработка забойных машин с их взаимной адаптацией и минимизацией габаритных размеров, обеспечивающих отработку пластов в минимальной мощности 0,8 м. Основной задачей в решении этой проблемы является разработка очистного комбайна [6,7] с высотой по корпусу (порталу) 450 мм, что на 100-150 мм меньше, чем у комбайнов УКД200-250, КА200, УКД400 (рис. 5).

Конструкция нового комбайна (рис. 6) предусматривает моноблочное исполнение корпуса с длиной жесткой базы 3 м, что на 1,2-1,7 м меньше, чем в серийных комбайнах (рис. 7) (табл. 1).

Кроме основной задачи, связанной с минимизацией габаритных размеров комбайна, обеспечивающих отработку пласта в мощности 0,8 м, решается вопрос по улучшению эксплуатационных качеств и увеличению показателей надежности за счет:

– применения торсионных валов, снижающих динамическую нагрузку на трансмиссию;

– моноблочного исполнения основного корпуса, исключающего шарнирные соединения узлов комбайна;

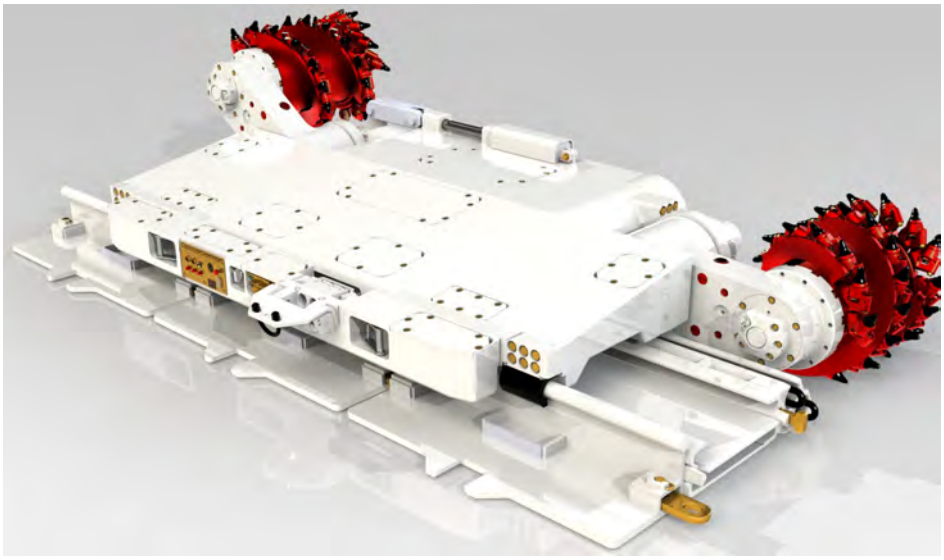


Рис. 6. Комбайн очистной УКМ240

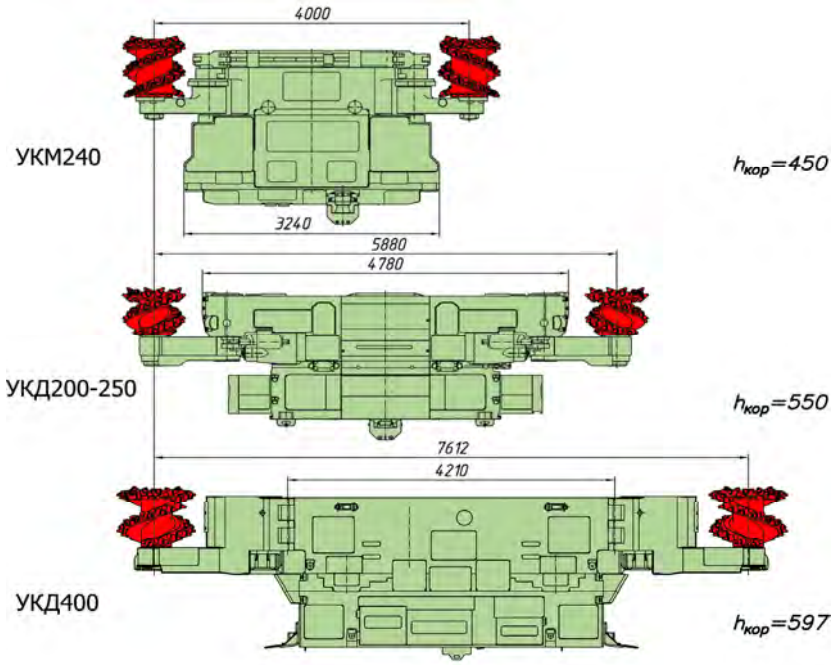


Рис. 7. Габаритные размеры очистных комбайнов

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 1. Сравнительные параметры очистных комбайнов, определяющие их вписываемость в пластах малой мощности

№ п/п	Параметр	УКМ240 новая разработка	УКД200-250	УКД200-500	УКД400	КА200	К103М
1	Высота по корпусу комбайна в зоне крепи, мм	450	550	594	597	556	440
2	Длина по осям шнеков, мм	4000	5880	6030	7612	3540	4400
3	Длина жесткой базы, мм	3000	4780	2480	4210	4980	3120

– размещения тяговой цепи [8] вынесенной системы подачи со стороны забойной части скребкового конвейера, что не только снижает нагрузки на основные узлы комбайна, но и повышает уровень безопасности работ в лаве;

– применения унифицированных редукторов резания, исключающих их правое и левое исполнения.

Второй базовой составляющей очистного комплекса является новая механизированная щитовая крепь [9] на базе четырехстоечных секций с параметрами, превосходящими существующие аналоги. Строительная высота секций крепи составляет 520 мм (вместо 580 и 600 мм в крепях 1КД80 и 1КД90), что обеспечивается за счет расположения двух проходов для рабочего персонала между конвейером и забойным рядом стоек при минимизации габаритов перекрытия и основания, изготавливаемых из высокопрочных сталей типа Weldox. На концевых участках лавы предусматривается исполнение специальных секций [10] с удлиненными забойными и обратными консолями для крепления выработанного пространства в зоне приводных станций скребкового конвейера и возведения охранных бутовых полос для поддержания подготовительных выработок.

Одним из вариантов решения данной проблемы может быть применение модульных бункер-конвейеров емкостью 60-200 м^3 (рис. 8), над созданием которых в настоящее время работает институт «Донуглемаш». Бункер-конвейер состоит из линейной части, выполненной на базе однотипных модульных секций, количество которых определяется суточным объемом горной массы из подготовительного забоя. Бункер оснащен скребковым конвейером с разнесенными по высоте ветвями тягового органа, которые обеспечивают загрузку модулей бункера, а в реверсивном режиме разгрузку горной массы на перегружатель. Разгрузка бункер-конвейера осуществляется при его полном или частичном заполнении в режиме запуска конвейера с незагруженным тяговым органом. Данный режим обеспечивается за счет посекционной разгрузки породы с каждого модуля при открытии секторных шиберов отдельных модулей гидродомкратами. Загрузочное устройство, оснащенное гидравлически управляемым лотком, обеспечивает раздельную транспортировку угольных и породных потоков из проходческого забоя при селективной выемке угля.

Кроме основной задачи, связанной с повышением качества угля, экономической составляющей при применении бункер-конвейера является увеличение темпов подготовительных



Рис. 8. Бункер-конвейер модульный

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

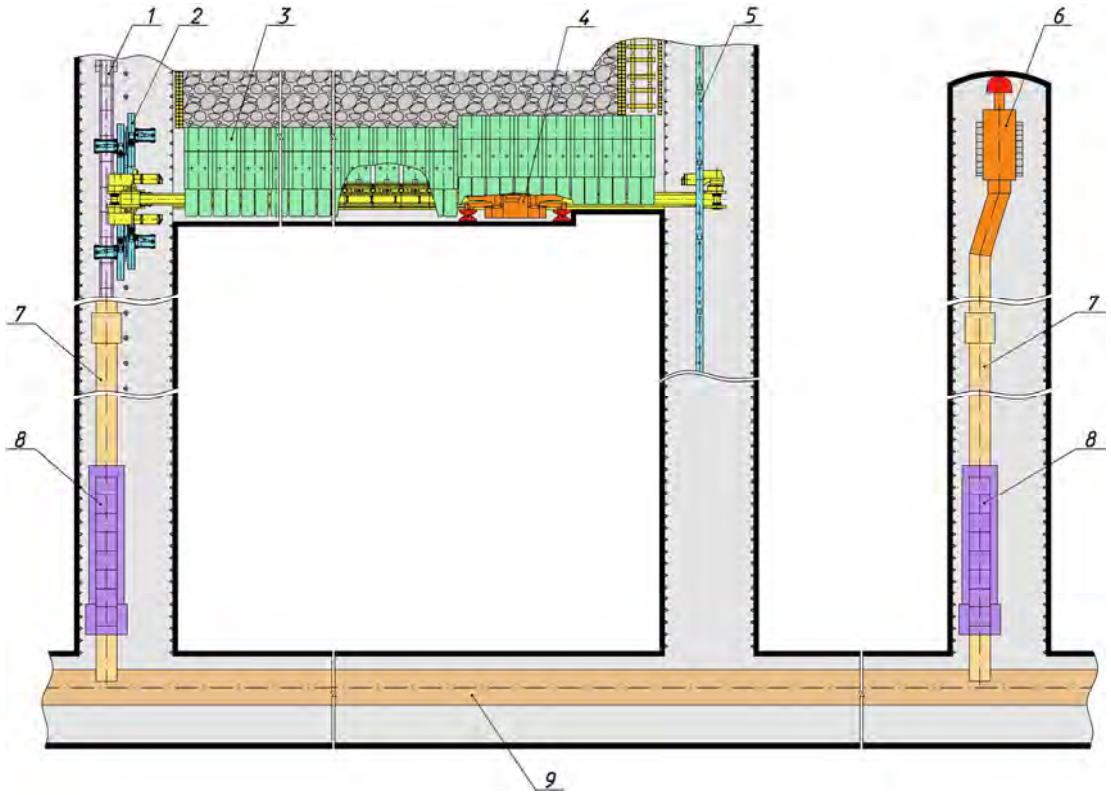


Рис. 9. Технологическая схема очистных и подготовительных работ с применением модульного бункер-конвейера:
1 – перегружатель скребковый; *2* – крепь сопряжения; *3* – крепь механизированная; *4* – комбайн очистной; *5* – крепь усиления; *6* – комбайн проходческий; *7* – конвейер ленточный участковый; *8* – бункер-конвейер модульный; *9* – конвейер ленточный магистральный

работ и снижение затрат электроэнергии на конвейерном транспорте.

ООО «Краснодонуголь», как потенциальный заказчик, выполнило расчет экономического эффекта от внедрения бункер-конвейера емкостью 150 м^3 на шахте «Молодогвардейской». Только от снижения зольности угля на 3,1 % окупаемость бункер-конвейера составила 4,3 месяца, при экономическом эффекте 26 млн. грн. в первый год эксплуатации.

Бункер-конвейер также предназначен для оснащения добычных участков в качестве аккумулирующего устройства, что обеспечит увеличение нагрузок на очистные забои вследствие сокращения простоев лавы при остановке общешахтных транспортных линий. Применение бункер-конвейеров в составе оборудования добычного и подготовительного участков показано на рис. 9.

Снижение зольности добываемого угля на 15 % (с 38 до 23 %) за счет сокращения присечек боковых пород, вывалообразований в лаве и на сопряжениях, а также его засоренности породой из подготовительных выработок, обеспечит реализацию без обогащения энергетического угля на тепловые электростанции с допустимой зольностью до 28 %.

Выводы

Внедрение комбайновых комплексов для отработки тонких пластов, комплекса средств для оснащения концевых участков лав и сопряжений с примыкающими выработками, модульных бункер-конвейеров для очистных и подготовительных участков обеспечит:

– добычу угля с зольностью не требующей затрат на его обогащение;

– увеличение нагрузок на очистные забои и темпов подготовительных работ;

– сокращение затрат на транспортировку породы в объеме горной массы по шахте и до обогатительной фабрики;

– улучшение экологии за счет сокращения объемов породных отвалов;

– снижение себестоимости добываемого угля, и, как следствие, повышение экономической эффективности работы шахт, обеспечивающее их рентабельное производство.

Список литературы

1. Энергетика: история, настоящее и будущее / К.Б. Денисевич [и др.] – К.: [б.и.]. – 2011. – 304 с.
2. Singh R.D. Principles and Practices of Modern Coal Mining // New Delhi: New Age Interna-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

tional. – 2005. – P. 341-362.
3. Технология селективной отработки тонких угольных пластов: монография / В.И. Бузило [и др.]. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – 138 с.
4. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства: монография / В.И. Бузило [и др.]. – Днепропетровск: НГУ. – 2013. – 124 с.
5. Механизированные комплексы на базе двухстоечных однорядных щитовых крепей / Г.В. Андреев [и др.] // Уголь Украины. – 2003. – №9. – С. 10-13.
6. Высокопроизводительные очистные комбайны для отработки тонких пластов с вынесенной системой подачи / В.В. Косарев [и др.] // Уголь Украины. – 2011. – №11. – С. 36-42.
7. Armburger J. Shearers: a new generation / J. Armburger, R. Chadwick, U. Paschedag // World Coal. – 2007. – Issue 5. – P. 15-18.
8. Erhöhung der Betriebssicherheit durch Auswahl geeigneter Bergbauketten mittels Shlagzerrei versuchen / R. Kandzia [et al.] // Glückauf. – 2009. – P. 231-238.
9. Четырехстоечные двухрядные щитовые крепи типа «Донбасс» и мехкомплексы на их базе / В.В. Косарев [и др.] // Уголь Украины. – 2003. – №9. – С. 23-27.
10. О создании и внедрении специальных концевых секций щитовых механизированных крепей для лав / И.В. Косарев [и др.]. // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горношахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: ГП «Донгипроуглемаш». – 2008. – С. 215-225.

I.V. Kosarev
Donetsk Scientific-Research Design Institute of Complex Mechanization of Mines (Donetsk)

INNOVATIVE DIRECTIONS IN MINING EQUIPMENT DESIGNING THAT PROVIDES HIGHER EFFICIENCY OF COAL MINING

Background. *New directions in designing the mining equipment are considered which improves the quality of the coal produced and increase the loads on the breakage faces.*
Materials and/or methods*. The purpose of creating a new longwall complex is to design downhole machines with their mutual adaptation and minimization of overall dimensions, providing development of coal beds in a minimum capacity of 0,8 m. The main challenge in solving this problem is to develop the shearers of 450 mm height to the body (portal), which is 100-150 mm less than shearers УКД200-250, КА200, УКД400.*
Results. *Proposed to improve the operational quality and reliability through the use of torsion shafts that reduce the dynamic load on the transmission*; *monoblock design of the main body which excludes swivel joints of the shearer*; *placing the traction chain of the feeding system from the downhole portion of the scraper conveyor, which not only reduces the load on major components of the shearer, but also increases the level of safety in the longwall; the use of standardized gear cutting, eliminating their right and left execution.*
Conclusion. *Introduction at the coal enterprises of Donbass of shearers for mining thin seams, a set of tools to equip end sections of longwalls and junction with the adjacent workings, modular bunker-conveyors for cleaning and preparatory sites will provide: mining coal with ash content not requiring the cost of its enrichment*; *increasing the loads on a breakage face and the time of the preparatory work*; *reducing the cost of transportation of rocks in the rock mass in the mine and to a processing plant; environmental improvement by reducing the volume of refuse heaps*; *reducing the cost of coal and, as a result, increasing the economic efficiency of mines that provides their cost-effective production.*

Keywords: *coal, shearer, powered support, bunker-conveyor.*

Сведения об авторе
И.В. Косарев
Телефон: +380 (50) 472-49-50
Эл. почта: gu.donuglemash@yandex.ru

Статья поступила 26.10.2016 г.
© И.В. Косарев, 2016
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин

УДК 622.232.72.063

И.В. Косарев, А.В. Мезников
ГУ «Донецкий научно-исследовательский проектно-конструкторский институт комплексной механизации шахт» (Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ С ВЫНЕСЕННОЙ СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ

Рассмотрены новые направления в создании систем подачи очистных комбайнов, обеспечивающих увеличение нагрузок на очистные забои.

***Ключевые слова**: уголь, очистной комбайн, вынесенная система подачи.*

Постановка проблемы

В настоящее время наиболее очевидной становится роль угольной отрасли в части обеспечения энергетической независимости Донецкой Народной Республики (ДНР).

Для увеличения объемов добываемого угля, а также с целью повышения рентабельности угольной отрасли ДНР при сокращении очистных забоев, объемов подготовительных работ и численности обслуживающего персонала решение поставленной задачи без интенсификации горных работ, создания высокопроизводительного горно-шахтного оборудования, новых технологий добычи угля невозможно.

В связи с этим одной из основных задач, поставленных перед ГУ «Донуглемаш», является создание высокопроизводительного очистного комбайна для отработки тонких пластов с повышенной скоростью перемещения.

Анализ последних исследований и публикаций

В последние годы для отработки тонких пластов получили широкое распространение несколько типов очистных комбайнов [1], состав которых по шахтам Украины на 2014 г. приведен на рис. 1.

До настоящего времени наибольшее распространение для тонких пластов получил комбайн 1К101У (около 40 % от общего количества, обеспечивают порядка 40 % добычи), который оснащен цепной системой подачи с объемным гидроприводом. Такое широкое распространение данного типа комбайнов объясняется их большим количеством, изготовленным в советское время, и следовательно, распространением в большом объеме на вторичном рынке (ремонтные комбайны). В последнее время комбайны 1К101У постепенно вытесняются комбайнами типа УКД200 (исполнений УКД200-250, УКД200-400, УКД200-500) с электрической вынесенной системой подачи (ВСП). Изготовлено более семидесяти комбайнов данного типа, что составляет порядка 30 % от общего количества работающих комбайнов, которые обеспечивают более 30 % добычи.

Комбайнами с ВСП оснащены порядка 40 % очистных забоев тонких пластов угольных месторождений Украины, которые обеспечивают 43 % добычи. Применение ВСП обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с цепными гидравлическими комбайнами:

– значительное увеличение безопасности труда за счет закрытой конструкции направляющих тяговой цепи;

– сокращение размеров высоты корпуса и

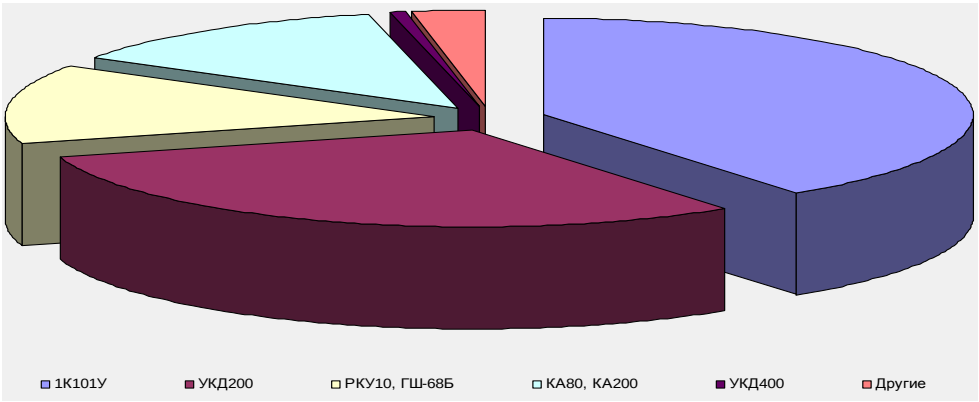


Рис. 1. Диаграмма среднедействующего количества очистных комбайнов

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

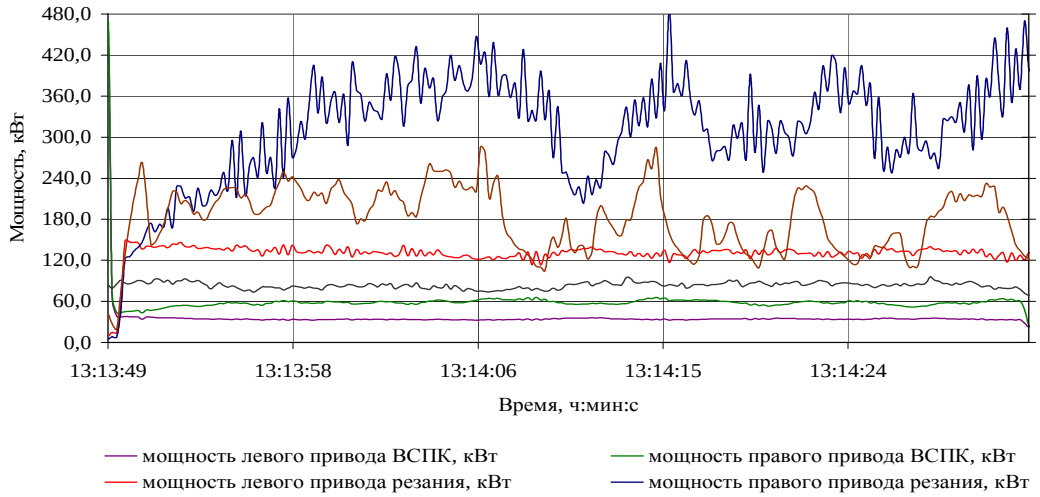


Рис. 2. Диаграммы потребляемой мощности на 3-й установке по выемке угля вправо (скорость подачи 4,2 м/мин, снизу вверх)

жесткой базы, что приводит к уменьшению зольности и улучшению вписываемости комбайна в тонкий пласт; например, УКД200-250 по сравнению с 1К101У имеет жесткую базу по основному корпусу и короче на 60 %, а высота корпуса в зоне крепи составляет 550 мм вместо 760 мм.

Комбайны с ВСП также обладают рядом преимуществ и в сравнении с комбайнами со встроенной системой подачи – они значительно проще и надежнее, у них относительно невысокая стоимость, меньшие габариты улучшают вписываемость комбайна в тонкий пласт, что расширяет область применения комбайнов.

В настоящее время привод ВСП очистных комбайнов выполнен на базе электромагнитной муфты скольжения (ЭМС). Данный привод, помимо значительных габаритов, характеризуется низкими тягово-скоростными характеристиками, низким КПД и, как следствие, высокой интенсивностью нагрева муфты скольжения и основных частей привода. Кроме того, ЭМС обладает низкой надежностью – в соответствии с данными, приведенными в отчете [2], количество отказов, связанных с данной ЭМС на приводе очистных комбайнов УКД200-250, составляет около 9 % от общего количества отказов. В ГП «Донгипроуглемаш» и ЗАО «Горловский машиностроитель» предпринимались попытки модернизации ЭМС [3] в части снижения нагрева и увеличения тягового усилия за счет повышения точности изготовления (уменьшения воздушных зазоров в магнитной системе) и введения водяного охлаждения обмотки возбуждения и наружной части корпуса. Однако проведенные экспериментальные исследования модернизированной муфты показали, что тяговое усилие удалось поднять на 20 % при скорости подачи 5 м/мин, что все равно не позволило обеспечить требуемую скорость подачи на базе привода, выполненного на базе модернизированной ЭМС (ВСПУ).

В последние годы появился вынесенный привод подачи ВСПК, выполненный на базе электромагнитного тормоза (ОАО «Харьковский машиностроительный завод «Свет шахтера»). Данный привод имеет большее тяговое усилие, но в остальном обладает теми же недостатками, что и привод, выполненный на ЭМС.

Таким образом, несмотря на то, что комбайны УКД200-250, УКД200-500, КА200 продолжают занимать нишу базовой техники для отработки тонких угольных пластов, они уже не отвечают современным требованиям, связанным, в первую очередь, с увеличением нагрузок на очистные забои и увеличением длин лав до 300-350 м, что определяется, в т.ч. и по тягово-скоростным характеристикам.

Цель (задачи) исследования

Целью исследования является определение параметров и характеристик новой ВСП очистных комбайнов, позволяющей увеличить нагрузку на очистные забои.

Основной материал исследования

Учитывая вышеизложенное, в настоящее время важной и актуальной является задача создания новой системы подачи, обеспечивающей увеличение скорости подачи очистных комбайнов, длины лавы очистного забоя, имеющей малые габариты и высокую надежность.

Для решения поставленной задачи и определения технических параметров создаваемой системы были проведены экспериментальные исследования работы ВСП в шахтных условиях с целью определения фактических действующих значений энергетических параметров и тяговых

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

усилий в ВСП при работе очистных комбайнов.

Так, исследования, проведенные в условиях шахты «Терновской» ПСП ШУ «Павлоградское» в лаве № 524 (очистной комбайн УКД200-500 № 1 с ВСПК), показали, что при сопротивляемости угля резанию до 380-410 кН/см и скорости подачи около 4 м/мин потребляемая мощность приводов подачи достигала 65 кВт, а приводов резания – 330 кВт (пиковая мощность до 470 кВт). Пример диаграмм режимов работы очистного комбайна приведен на рис. 2.

Одним из основных факторов, определяющих производительность комбайна, является скорость его перемещения, которая определяется как (при челноковой схеме отработки):

$$V = \frac{N_{стр} L}{t_д},\ t_д = K_m T - N_{к.оп} t_{к.оп},$$

$$N_{стр} = \frac{Q}{q_{стр}},\ q_{стр} = LmB\gamma,$$

где $N_{стр}$ – количество стружек; L – длина лавы, м; $t_д$ – время добычи, мин.; Q – планируемая суточная добыча комбайна, т; $q_{стр}$ – добыча с одной стружки, т.; m – вынимаемая мощность пласта, м; B – ширина захвата исполнительного органа, м; γ – плотность разрушаемого угля, т/м^3; K_m – коэффициент машинного времени; T – суммарное время добычных смен, мин; $N_{к.оп}$ – количество концевых операций; $t_{к.оп}$ – время, затрачиваемое на одну концевую операцию, мин.

Таким образом:

$$V = \frac{Q}{mB\gamma\left(K_m T - \frac{Q}{LmB\gamma} t_{к.оп}\right)}.$$

Зависимость скорости перемещения комбайна от суточной производительности (при челноковой схеме отработки) приведена на рис. 3.

При построении данных зависимостей были приняты:

– вынимаемая мощность пласта m=1 м;

– ширина захвата B=0,8 м;

– время, затрачиваемое на одну концевую операцию, $t_{к.оп}$=30 мин.

При односторонней схеме отработки угольного пласта скорость комбайна (при условии, что $V_{зачистки}=2V_{резания}$) определяется как:

$$V_{рез}\frac{2}{3}t_{стр} + V_{зач}\frac{1}{3}t_{стр} = 2L,$$

тогда

$$V_{рез} = 1{,}5\frac{L}{t_{стр}} = 1{,}5\frac{Q}{t_д mB\gamma}.$$

Из чего следует, что ограничивающим фактором при односторонней схеме работы комбайна является скорость зачистки. На рис. 4 приведена зависимость скорости зачистки от суточной производительности комбайна. Данные зависимости приведены с учетом ограничения скорости подачи очистного комбайна биомеханическими характеристиками машиниста комбайна, в соответствии с [4] максимальная скорость комбайнера в пласте мощностью 0,9-1,4 м не должна превышать 16 м/мин.

Учитывая данные, полученные ГП «Донгипроуглемаш» и ЗАО «Горловский машиностроитель» при проведении силовых испытаний привода подачи очистных комбайнов с БСП, выполненного на базе штрекового частотного преобра-

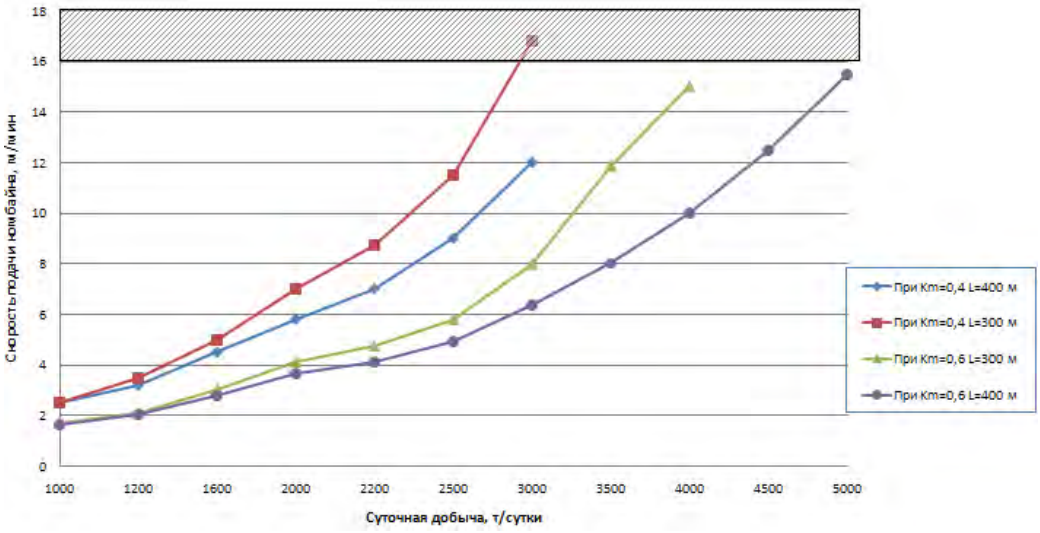


Рис. 3. Зависимость скорости подачи комбайна, работающего по челноковой схеме, от суточной добычи

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

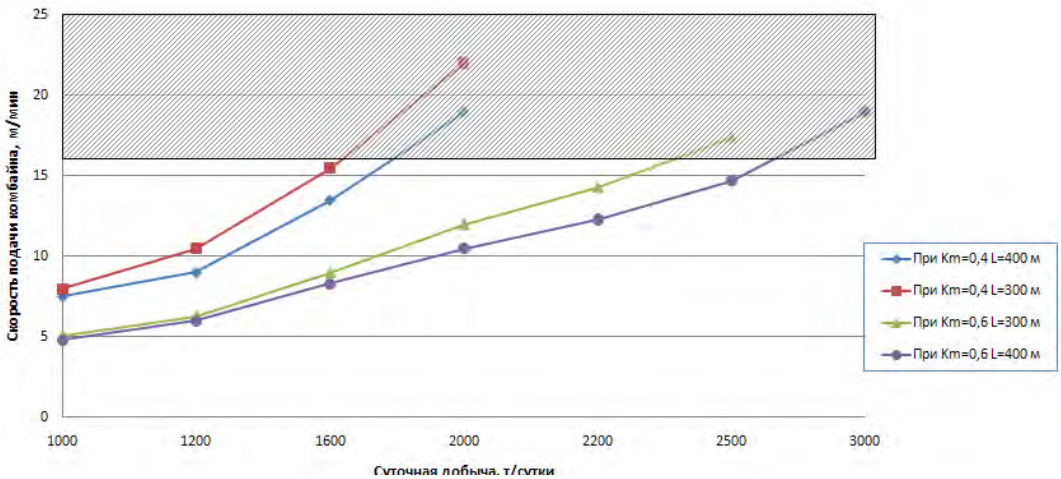


Рис. 4. Зависимость скорости подачи очистного комбайна (по зачистке), работающего по односторонней схеме, от суточной добычи

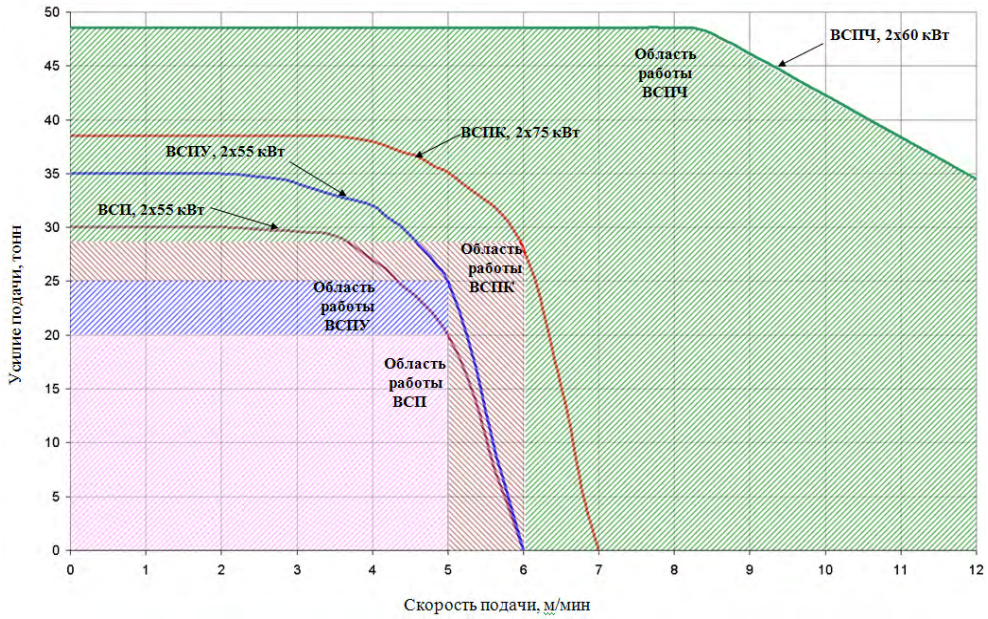


Рис. 5. Сравнение возможностей различных вынесенных приводов подачи

зователя ПЧЭШ-60 очистных комбайнов УКД-300 и УКД-400 [5], получены зависимости тягового усилия от скорости перемещения, а также необходимые усилия подачи комбайна (диаметр шнеков D=0,8 м, мощность пласта m=1 м) при угле наклона пласта 35° различных значений сопротивляемости угля. Данный привод обеспечил тяговое усилие 30 т в диапазоне рабочих скоростей от 1 до 12 м/мин. Данные замеры подтвердили технические характеристики системы подачи очистных комбайнов, выполненные на базе частотно-регулируемого привода (ВСПЧ). Сравнительные характеристики различных приводов ВСП приведены на рис. 5.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что для увеличения производительности очистных комбайнов с ВСП необходимо:

– обеспечение скорости подачи не менее 10-12 м/мин;

– увеличение длины лавы до 300-350 м;

– увеличение коэффициента машинного времени до 0,6;

– переход на принципиально новый тип подачи – частотный привод (применение которого нашло широкое распространение в зарубежной горной отрасли [6,7, с. 69-272], обеспечивающий значительное повышение тяговых усилий и скорости подачи очистного комбайна, повышение коэффициента полезного действия, сокращение в 1,5 раза площади незакрепленного пространства в лаве и улучшение размещения приводных станций конвейера на крепях сопряжения, снижение динамических нагрузок на привод, тяговую цепь и узлы очистного комбайна.

Выводы

Создание ВСП очистных комбайнов для отработки тонких пластов на базе частотного при-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

вода обеспечит:

– увеличение нагрузок на очистные забои;

– снижение энергозатрат при выемке угля;

– расширение области применения очистных комбайнов с ВСП при сплошной и комбинированной системах разработки;

– повышение показателей надежности работы горно-шахтного оборудования;

– повышение безопасности горных работ.

Список литературы

1. Ященко Ю.П. Научно-технические решения по развитию угольных шахт Украины / Ю.П. Ященко, И.В. Косарев. – Киев: Логос, 2014. – С. 105-138.
2. Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе. Анализ фактических показателей наработки и аварийности (отказов) комбайнов УКД 200-250. – Донецк: ГП «Донгипроуглемаш», 2009. – С. 16.
3. Стендовые и шахтные испытания вынесенной системы подачи очистного комбайна / Н.И. Стадник [и др.] // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 294-303.
4. Кияшко Ю.И. Анализ биомеханических характеристик машиниста комбайна в комплексно-механизированной лаве / Ю.И. Кияшко, В.Г. Шевченко // Уголь Украины. – 2009. – №3. – С. 30-32.
5. Стендовые испытания двухдвижительной бесцепной системы подачи очистных комбайнов / В.В. Косарев [и др.] // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 251-262.
6. Knipper L. Umrichtermotoren fur den Steinkohlenbergbau / L Knipper, A. Tischkewitz. – Antriebstechnik. – 2000. – No.3. – P. 60-62.
7. Reifenstahl U. Elektrsche Antribstechnik. – Stuttgart/Leipzig: B.G.Teubner, 2000. – 401 S.

I.V. Kosarev, A.V. Meznikov

Scientific-Research and Design Institute of Mines Complex Mechanization (Donetsk)

PRODUCTIVITY INCREASE OF THE SHEARERS WITH REMOTE SUPPLY SYSTEM

Background. *New designs of the supply systems for shearers providing increased loads on the working faces considered.*

Materials and/or methods. *With the aim of increasing productivity of the shearers designed for mining thin seams, it is necessary to develop a new remote supply system.*

Results. *Proposed the improvement of the performance and reliability of the shearer through the use of the remote supply system which is based on variable frequency drive and provides the shearer's speed increase to 10-12 m/min, increased traction, reduction of the loose space area in the face, improvement of the allocation of drive stations of the conveyor on the supports of the pairing, reduction of dynamic loads on the drive and assemblies of the shearer.*

Conclusion. *The creation of the remote supply system of the shearers for mining thin seams on the basis of the frequency drive will provide: increasing loads on the working faces, reducing energy consumption, expanding the scope of application of the shearer with remote supply system in a continuous and combined systems development, increasing reliability of mining equipment, improvement of safety of mining operations.*

Keywords: *coal, shearer, remote supply system.*

Сведения об авторах

И.В. Косарев
Телефон: +380 (50) 472-49-50
Эл. почта: gu.donuglemash@yandex.ru

А.В. Мезников
Телефон: +380 (66) 873-83-67
Эл. почта: gu.donuglemash@yandex.ru

Статья поступила 26.10.2016 г.

© И.В. Косарев, А.В. Мерзников, 2016

Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 622.232.75(477.6)

В.Г. Гуляев /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТРУГОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ ПОЛОГИХ ТОНКИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА

Рассмотрены отечественные и зарубежные тенденции создания струговых комплексов для отработки пологих угольных пластов длинными лавами без постоянного присутствия горняков в очистном забое. Отмечены актуальность и проблемы создания автоматизированных струговых комплексов для безлюдной выемки тонких угольных пластов в усложненных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: *струговые механизированные комплексы, горно-геологические условия, тонкие пласты, технико-экономические показатели, безлюдная выемка, автоматизация, проблемы создания, классификация, параметры, область применения.*

Постановка проблемы

На шахтах Германии, США, Польши, Чехии и других стран комбайновая выемка тонких угольных пластов используется только при отсутствии возможности применения струговых механизированных комплексов по горно-геологическим условиям. Доля добычи угля стругами в 1990 г. достигала 67 % в Германии, 23 % в Чехии и только 5,3 % в СССР [1].

В России специалисты считают, что в усложненных условиях струговая выемка может применяться при надежном креплении лавы, обеспечивающем значительное снижение энергозатрат и безопасность эксплуатации стругового комплекса. При этом целесообразно использовать импортные струговые установки с мощностью приводов 200-400 кВт, положительно зарекомендовавшие себя в Германии и США, агрегатированные с отечественной механизированной крепью типов М 137, М 138 [2].

В Украине 96 % залежей угля находится в Донецком бассейне, суммарные запасы до глубины 1800 м – 40,8 млрд. т; угли каменные марок Д-Т (78%), антрациты (23 %). 85 % общих запасов угля сосредоточено в тонких пластах мощностью менее 1,5 м; 63,1 % промышленных запасов угля залегает в тонких пластах мощностью 0,7-1,2 м и 20,1 % – в весьма тонких мощностью 0,5-0,7 м. Около 70 % рабочих пластов характеризуется сложным строением и малоустойчивыми породами кровли.

За период 1990-2005 гг. число находящихся в эксплуатации струговых установок отрывного типа на пластах мощностью 0,65-0,95 м, со среднесуточной добычей 250-300 т, сократилось с 92 до 13. До настоящего времени средства комплексной механизации для отработки весьма тонких пластов на базе комбайновой выемки не разработаны. Выемка тонких пластов осуществляется в основном комбайновыми комплексами со значительными объемами присекаемых боковых пород. Это подтверждается результатами статистических исследований ДонУГИ, характеризующих объемы присекаемых пород при работе очистных комбайнов и стругов на тонких пластах. Так, в течение 2007 года дополнительно к объему добытого угля (с его природно-генетической зольностью) на поверхность шахт Украины выдано 10026 тыс. тонн присекаемой породы. Основная масса породы (7200 тыс. т, или 71,8 %) выдана из тонких пластов. Установлено также, что наименьшую присечку (7,3-13,7 %) обеспечивают струговые установки в пластах мощностью 0,68-0,87 м.

В ближайшей перспективе реально достижимые объемы добычи и качество добываемого угля в Донецком бассейне будут определяться техническим уровнем применяемого очистного оборудования и технологии струговой выемки.

Поэтому в целях обеспечения энергетической независимости (годовая добыча не менее 110-115 млн. т, высокая производительность и перевод всех шахт в разряд рентабельных) необходимо решение актуальной проблемы технического переоснащения шахт на основе создания и широкого внедрения современных высокоэффективных комбайновых и, прежде всего, автоматизированных струговых комплексов (АСК) для безлюдной отработки тонких угольных пластов Донецкого бассейна.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Анализ последних исследований и публикаций

Рассмотрим состояние проблемы, отечественные и зарубежные тенденции, направления и проблемы ее решения.

В числе перспективных приоритетных проектов института ГП «Донгипроуглемаш» [3-5] следует отметить создание и внедрение автоматизированных комбайновых и струговых очистных комплексов на базе щитовых крепей ДМ и ДТ для отработки пологих пластов мощностью 0,85-1,5 м. Комбайновый автоматизированный комплекс создается на базе комплекса МДМ с ручным управлением, отрабатывающим тонкие пласты с обеспечением среднесуточных нагрузок 1200 т/сутки. Применение комбайнового комплекса может быть эффективным при отработке пластов угля коксовых марок, так как они подвергаются глубокому механическому обогащению для снижения зольности, а гранулометрический их состав не имеет существенного значения.

Автоматизированный струговый комплекс на базе крепи ДМ предназначается также для механизированной выемки пологих пластов мощностью 0,85-1,5 м в лавах длиной до 300 м. Комплекс будет оснащен струговой установкой скользящего или отрывного типа с мощностью приводных блоков по 250-400 кВт каждый и системой электрогидравлического управления со штрекового пульта, что соответствует требованиям безлюдной технологии работы.

Для отработки пластов мощностью 0,75-1,2 м создается струговый комплекс на базе специального исполнения крепи ДМ и струговой установки отрывного типа с мощностью приводных блоков 2×250 кВт. Применение таких струговых комплексов должно обеспечить значительное повышение качества добываемого угля: рост сортности в 2-3 раза и снижение зольности 1,5-2 раза, что позволит существенно улучшить экономические показатели работы шахт, отрабатывающих антрацитовые пласты [5].

В последнее время единственным в угольной отрасли специализированным институтом струговой выемки был Луганский проектно-конструкторский институт струговой выемки угля (ЛИСВУ). Основные направления деятельности ЛИСВУ:

1) комплексные исследования в области струговой выемки, определение направлений ее развития и усовершенствования;

2) создание эффективной струговой техники и технологии для подземной выемки угля, активное внедрение струговых установок и комплексов на предприятиях отрасли.

Однако выполненные научно-технические разработки ГП «ЛИСВУ» и ОАО «ХМЗ «Свет шахтера»: струговые установки УСТ2М и УСТ4 для выемки тонких пластов, скреперо-струговая установка УВТ для выемки сверхтонких пластов, к сожалению, не отвечают современным требованиям к техническому уровню средств механизации для безлюдной технологии отработки тонких пластов.

В России ОАО «ШахтНИУИ» проводит систематически научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки по созданию струговых установок и струговых комплексов для выемки тонких пластов и пластов средней мощности. Струговые установки конструкции ОАО «ШахтНИУИ» для отработки пологонаклонных пластов мощностью 0,6-1,2 м изготовляются и применяются на угольных шахтах России и Украины [6].

Состояние и перспективы развития струговой выемки в Украине и России рассмотрены в работах [1,2,4,5], а существенные ее преимущества по сравнению с комбайновой – в работах специалистов ГП «Донгипроуглемаш», ГП «ЛИСВУ», ОАО «ШахтНИУИ», а также института общей энергетики НАН Украины (г. Киев) [7].

На основе анализа многолетнего отечественного и зарубежного опыта применения комбайновой и струговой технологий для отработки тонких пластов специалистами в области создания эффективных средств угледобычи отмечаются следующие преимущества струговой выемки [1-7,10-14]:

– разрушение угля стругом по напластованию, в отжатой зоне с малой (5-15 см) шириной захвата снижает энергоемкость процесса отделения угля от массива и повышает выход крупносредних сортов;

– уменьшается зольность угля за счет устранения присечек породы и снижается пылеобразование в несколько раз по сравнению с комбайновой выемкой;

– повышается безопасность отработки выбросоопасных пластов, так как при узком захвате быстрее происходит дегазация пласта;

– возможность реализации силового и скоростного режимов работы при различных соотношениях скоростей движения струга и цепи конвейера позволяет достигать высоких нагрузок на очистные забои (до 5-10 тыс. т/сут. на пластах мощностью 0,75-1,2 м);

– снижаются затраты на концевые и вспомогательные операции, обеспечивается возможность работы струговой установки, агрегатированной с гидрофицированной механизированной

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

крепью, без постоянного присутствия людей в лаве;

– электроприводы струга и конвейера располагаются на сопряжениях очистного забоя с примыкающими штреками, что исключает необходимость применения в лаве подвижного электрического кабеля под напряжением.

Недостатками струговой техники и технологии являются низкий КПД струговых установок отрывного типа и ограниченная область их эффективного применения в пластах очень крепкого и вязкого угля (до 300 кН/м) с неспокойной гипсометрией и боковыми породами ниже средней устойчивости.

Цель (задачи) исследования

Целями настоящей работы являются: 1) рассмотрение наиболее перспективных отечественных и мировых тенденций развития струговых комплексов; 2) выявление нерешенных актуальных проблем и формирование направлений и путей их разрешения.

Основной материал исследования

Специалистами ГП «Донгипроуглемаш на основе анализа состояния развития струговой выемки в Украине и за рубежом, установлены причины отставания от мирового уровня и определены первичные задачи для его ликвидации. Основными результатами этой работы, имеющими важное значение методологического и научно-практического характера при решении задач разработки и проектирования струговых комплексов, являются:

– программа поэтапного развития и внедрения струговых механизированных комплексов на базе щитовых двухстоечных крепей, агрегатированных со стругами отрывного типа (класса 1МСК), со стругами скользящего типа (класса 2МСК) и автоматизированных струговых комплексов (класса АСК);

– системная классификация оборудования средств механизации струговой выемки по показателям: уровень эффективности; уровень автоматизации; по мощности пласта и производительности; по типу струговой установки; по энерговооруженности и надежности; по типу щитовой крепи и диапазону ее раздвижности;

– рекомендуемые основные характеристики оборудования различных классов – струговых очистных комплексов на базе щитовых двухстоечных крепей – с учетом факторов экономиче-

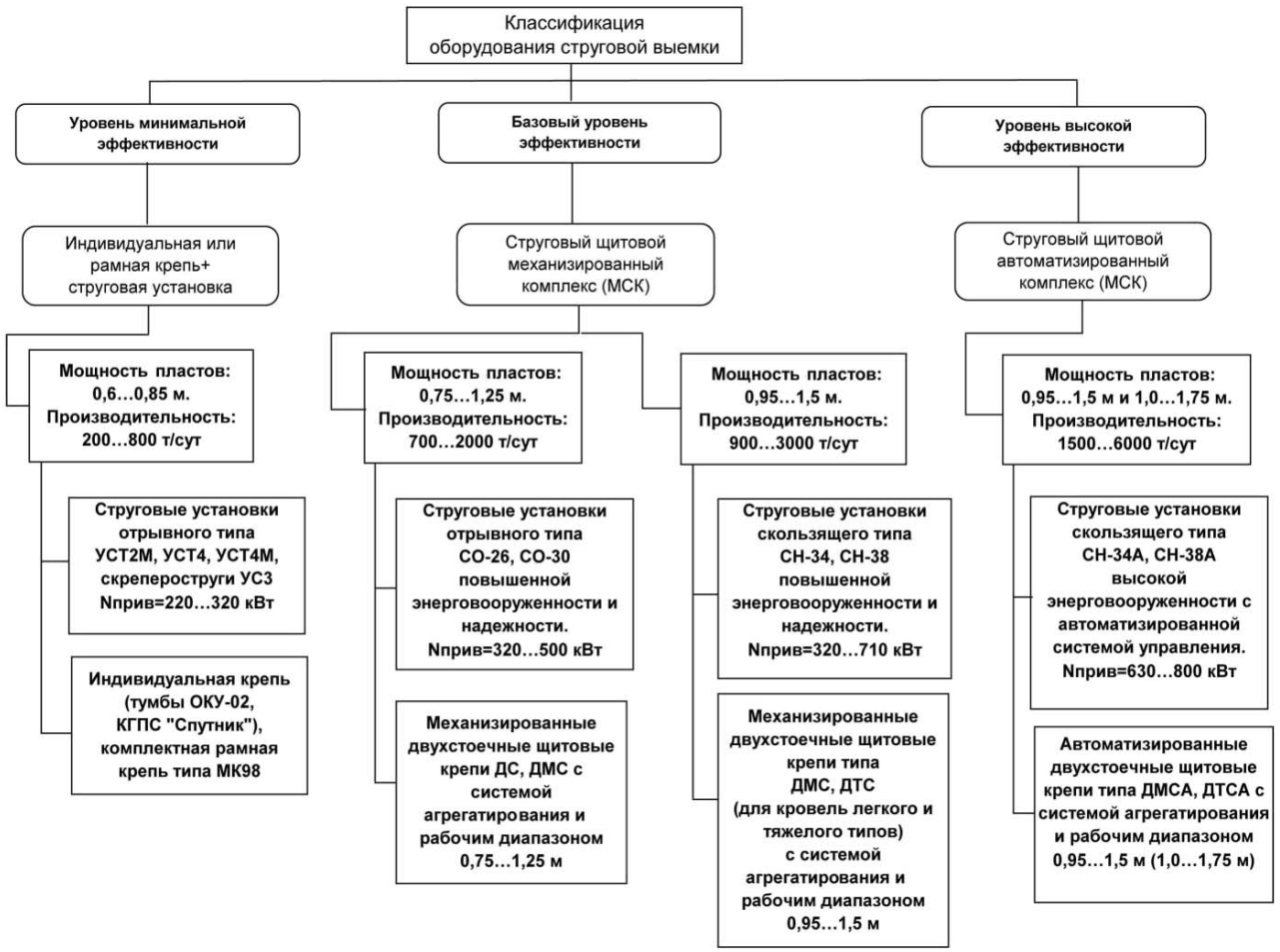


Рис. 1. Классификация оборудования струговой выемки

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

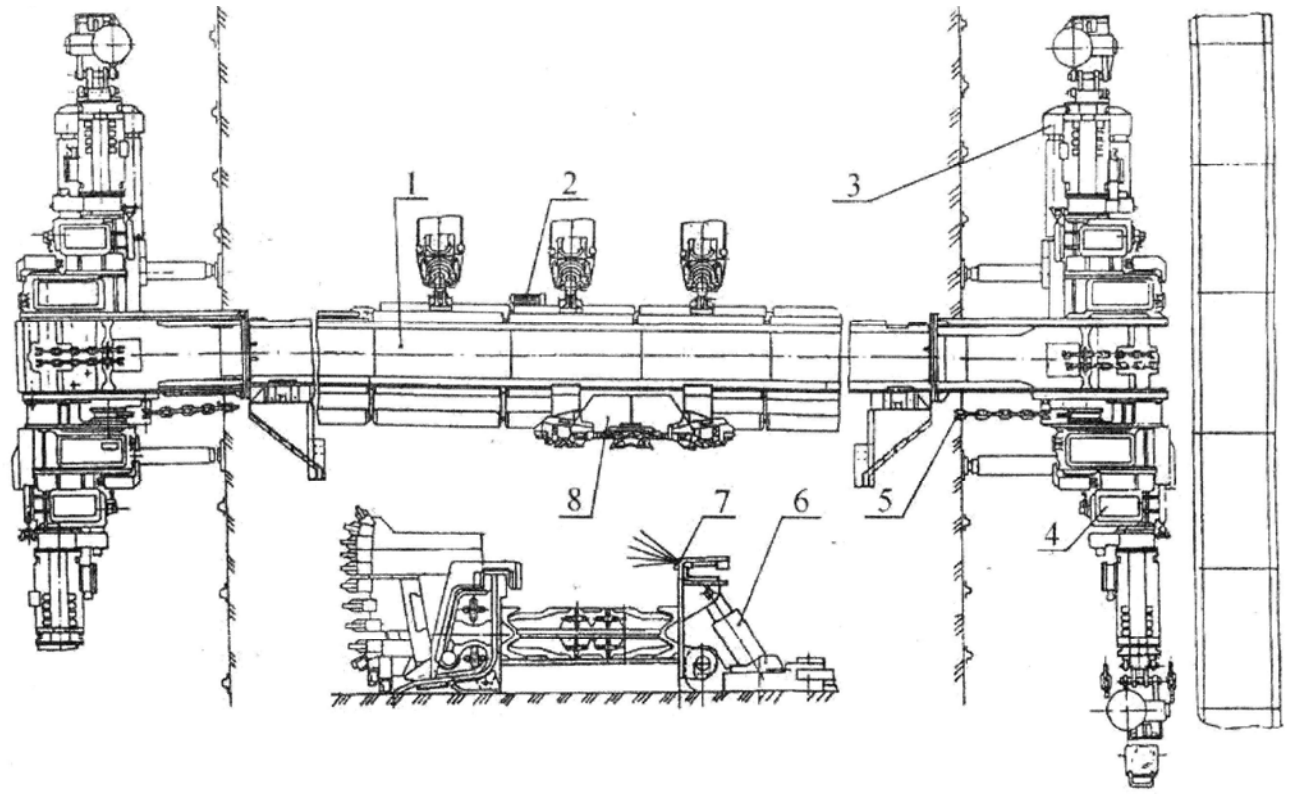


Рис. 2. Установка струговая 2СН3413.
1 – конвейер; *2* – электрооборудование; *3* – стол гидрофицированный; *4* – привод струга; *5* – цепь струга; *6* – гидроцилиндр наклона конвейера; *7* – орошение; *8* – струг

ской эффективности, диапазона горно-геологических условий и уровня автоматизации.

Структурная схема классификации оборудования струговой выемки, предложенная ГП «Донгипроуглемаш», представлена на рисунке 1.

Специалистами ГП «Донгипроуглемаш» разработана также «Программа развития струговой техники на угледобывающих предприятиях Минуглепрома Украины на 2007-2011 годы». Реализация программы должна обеспечить:

1) создание отечественных современных струговых щитовых комплексов для эффективной выемки тонких пологих пластов в лавах длиной до 300 м;

2) увеличение объемов добычи угля из тонких пластов, повышение сортности угля и снижение его зольности за счет сокращения присечек боковых пород;

3) повышение безопасности персонала струговых комплексно-механизированных забоев и сокращение объемов ручного труда;

4) расширение области эффективного применения струговой выемки на пласты с боковыми породами ниже средней устойчивости с сопротивляемостью угля резанию до 300 кН/м;

5) создание отечественных автоматизированных струговых щитовых комплексов, работающих без постоянного присутствия людей в забое с производительностью до 6000 т/сутки.

Следует отметить, что для успешного решения комплекса перечисленных выше задач проблемного характера необходимо:

– развитие и реализация новой (инновационной) концепции создания и внедрения автоматизированных струговых комплексов, основанной на оптимальном использовании геомеханических, технологических и технических факторов, влияющих на состояние угольного пласта в пределах ширины захвата, позволяющих эффективно использовать явление отжима и природные свойства углей как разрушаемых сред для снижения энергоемкости процесса выемки и повышения сортности [8];

– в процессе эксплуатации необходимо управлять отжимом в пределах вынимаемой полосы путем регулирования скорости подвигания очистного забоя и сопротивления лавокомплекта крепи опусканию кровли с автоматическим мониторингом ее состояния в призабойном пространстве [8];

– применение современных методов системного оптимального проектирования сложных энергонасыщенных многоприводных динамических систем стругов с распределенными параметрами, разработка их динамических и математических моделей, адекватных реальным физическим объектам, модельные исследования и использование их выводов на основе анализа

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

результатов имитационного моделирования, для обеспечения требуемых показателей надежности и ресурса [21,22];

– изучение и критический анализ научно-технических источников, освещающих отечественный и зарубежный опыт создания и применения струговых установок и комплексов; к их числу можно отнести публикации специалистов в области струговой выемки в шахтах ФРГ, Германии, США, Великобритании, России и других угледобывающих стран, а также информационные материалы зарубежных фирм – производителей и поставщиков струговых комплексов на мировом рынке горной техники [10-15].

Заслуживают особого внимания, критического анализа и использования опыт и результаты исследований и опытно-констукторских работ института «ШахтНИУИ» [1,14], создавшего три поколения струговых установок отрывного, скользящего и комбинированного типов, а также механизированные струговые комплексы 1МКС122, 2МКС125 и 2МКС216 (220) для выемки тонких пластов.

На рис. 2 приведен в качестве примера общий вид оборудования струговой установки скользящего типа 2СН3413 с мощностью приводов 2×400 кВт и тяговой цепи струга калибра 34 мм.

Комплексы выполнены на базе струговых установок скользящего типа с энерговооруженностью до 1000 кВт - 2СН3413 и щитовой крепи 2КС216(220) с рабочим сопротивлением 560 кН/м^2 (940 кН/ м^2) и минимальной высотой 650; 700 мм, соответственно (рис. 3 и 4). Применение таких автоматизированных комплексов позволит вести выемку в рабочие смены без присутствия рабочих в очистном забое. Для проведения работ по осмотру и ремонту оборудования в ремонтно-подготовительные смены предусмотрены проходы для рабочих с размерами, соответствующими требованиям безопасности.

Целесообразно также использовать многолетний (1950-2016 гг.) положительный опыт создания, развития и применения в сложных горно-геологических условиях Рурского бассейна струговых установок [9], струговых комплексов [10], автоматизированных струговых установок фирмы DBT [11] и автоматизированных струговых систем фирмы Caterpillar (CAT) [12].

Следует отметить такие тенденции развития и совершенствования струговой техники в Германии: повышение энерговооруженности приводов струга и стругового конвейера; применение электроприводов с частотным регулированием и средствами защиты; применение высокопрочных тяговых цепей, высокопрочных секций рештачного става и соединительных звеньев, применение усовершенствованных конструкций исполнительного органа регулируемой высоты, применение агрегатированной механизированной крепи и системы управления горизонтом, обеспечивающих эффективную работу комплекса в условиях слабой кровли и волнистой почвы; применение электронной системы управления секциями крепи с автоматизацией процесса дозированной выемки с использованием пошагового резания пласта стругом.

В части тенденций конструирования можно отметить использование модульного принципа, разделение составных частей струга и конвейера на базовые и быстро изнашиваемые, применение рациональных конструкционных материалов для обеспечения надежности и оптимальных сроков их службы.

Наиболее существенным результатом развития немецкой струговой техники является отказ от многочисленных типов и конструкций струговых установок, работавших с комплектными крепями и забойными конвейерами с волнообразным перемещением на забой при ширине захвата до 0,3 м.

Такие установки в настоящее время вытеснены комплексами фирмы «Хальбах и Браун» с мощностью приводов струга 2×315 кВт, фирмы

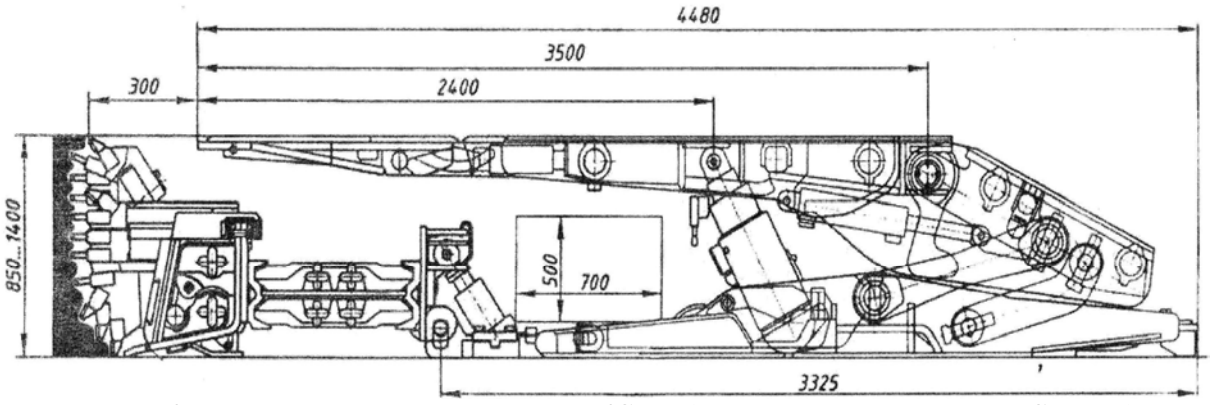


Рис. 3. Комплекс очистной струговый 1МКС122 (со струговой установкой 2СН3413)

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

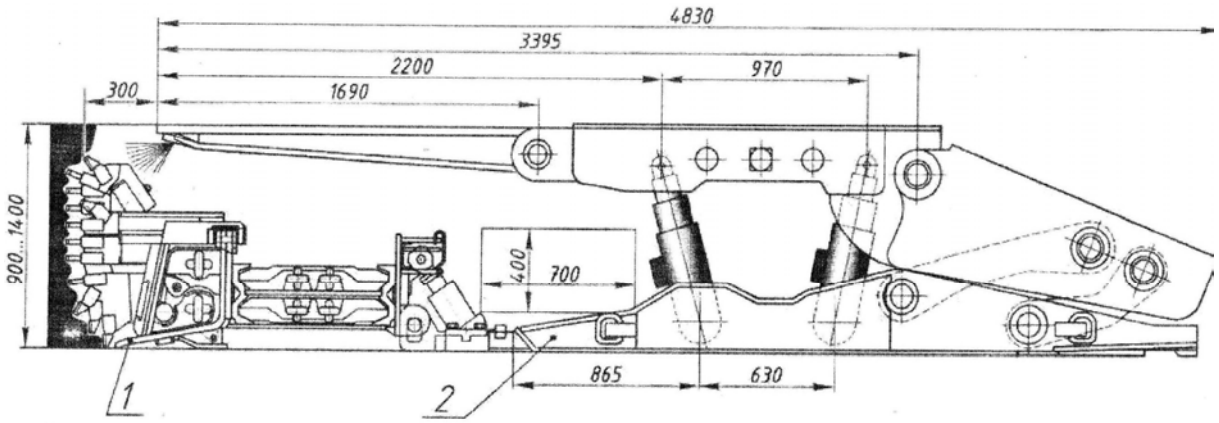


Рис. 4. Комплекс очистной механизированный 2МКС216 (2МКС220)

ДБТ: GH9-34 GH9-38 GH42, фирмы CAT, работающими с агрегатированными крепями и фронтально передвигаемыми конвейерами. Положительной особенностью новых струговых комплексов является прямолинейность конвейерного става, обеспечивающая четкое расположение секций крепи, что является основой создания автоматизированного стругового комплекса и технологии выемки угля без постоянного присутствия людей в очистном забое во время его работы.

Примером могут служить автоматизированные струговые комплексы CAT с установленной мощностью до 1600 кВт (GH 1600), способные добывать уголь любой крепости в режиме дозированной выемки при резании угля стругом CAT на четко заданную глубину стружки, независимо от его твердости, структуры пласта и геологических нарушений [12]. Такой комплекс может отрабатывать пологие пласты мощностью 1,8-2,3 м с показателями более высокими, чем комбайн, однако с более высокими удельными энергозатратами.

Отмеченные тенденции позволяют расширить область эффективного применения автоматизированных струговых комплексов на пласты крепкого угля мощностью более 1,5 м в усложненных горно-геологических условиях. Вместе с тем, в комплексах для тонких пластов не приводятся данные по применяемым механизированным крепям.

Так, для выемки пластов мощностью от 0,6 до 1,5 м предлагается установка отрывного типа RHH800 с установленной мощностью 2×400, с тяговой цепью струга калибром 38 или 42 мм, соединители рештаков рассчитаны на разрывное усилие до 2000 кН. Однако отсутствуют данные о типе и параметрах механизированной крепи, что свидетельствует о несоответствии этого исполнения МСК требованиям к автоматизированным струговым комплексам для безлюдной технологии выемки тонких пластов.

Одной из нерешенных при создании струговых комплексов для тонких пластов – является проблема надежного крепления лавы, которая сложно решается при выемке угля стружками 0,05-0,15 м при передвижке секций крепи на 0,6-0,8 м, даже в условиях устойчивых непосредственных кровель.

Опыт разработки струговых комплексов на базе щитовых крепей, спроектированных для комбайновой технологии, показал, что необходимо создание специальных механизированных крепей, соответствующих специфике технологии работы струговых комплексов. Методы определения силовых и конструктивных параметров механизированных крепей для струговых комплексов обоснованы в докторской диссертации

Табл. 1. Характеристики струговых установок классов Л, С, Т по ГОСТ Р 53650-2009

Класс установки	Мощность приводов струга, кВт	Калибр тяговой цепи струга, мм	Мощность приводов стругового конвейера, кВт	Калибр цепи тягового органа стругового конвейера, мм
Легкий (Л)	от 220 до 400	26×92; 30×108	от 220 до 320	18×64; (24×86-Н)
Средний (С)	св. 400 до 630	34×126	св. 320 до 630	26×92; 30×108
Тяжелый (Т)	св. 630	38×137 и выше	св. 630	34×126 и выше

Примечание: В калибре цепи 24×86-Н буква Н показывает, что вертикальное звено имеет пониженный размер (64 мм).

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 2. Значения основных показателей назначения в зависимости от типа и типоразмера установок

Наименование показателя	Значения показателя, параметра						
	1СОХХХХ	2СОХХХХ	3СОХХХХ	1СНХХХХ	2СНХХХХ	3СНХХХХ	3СКХХХХ
Производительность очистной выемки (расчетная), $м^2$/мин, не менее	4,5						
Применяемость по мощности пласта, м: – минимальной, не более – максимальной, не менее	0,55 0,8	0,85 1,2	0,95 1,6	0,65 0,9	0,85 1,2	0,95 1,6	0,95 1,6
Применяемость по сопротивляемости пласта резанию, кН/м, не более	250			300			
Суммарная номинальная мощность электродвигателей струга, кВт, не менее	220	320	500	220	320	630	320
Суммарная номинальная мощность электродвигателей конвейера, кВт, не менее	220	320	500	220	320	630	320
Скорость движения струга, м/с	0,5-3,5						
Скорость движения тягового органа конвейера, м/с	0,5-1,35						
Конструктивная высота струга, мм: – минимальная, не более – максимальная, не менее	450 750	650 1000	850 1400	500 800	650 1000	850 1400	850 1400
Минимальная конструктивная высота конвейера по борту, мм, не более	400	600	750	450	600	750	750
80 %-й ресурс до капитального ремонта, тыс. т, не менее	500	1000	1500	750	1500	3000	3000

Примечания: 1. 80 %-й ресурс до капитального ремонта определяют по предельному состоянию решетчатого става конвейера установки. 2. При выемке антрацитов 80 %-й ресурс до капитального ремонта должен составлять не менее 50 %.

Табл. 3. Характеристики струговых установок классов Л, С, Т, СТ

Класс СУ	Мощность приводов струга, кВт	Калибр цепи струга, мм	Площадь сечения конвейера, $м^2$	Калибр цепи конвейера, мм	Мощность приводов конвейера, кВт	Теоретическая производительность струга, т/мин	Вынимаемая мощность пласта, м
Л	<400	30×108	<0,20	18×64	320	до 10	0,85-1,1
С	400-630	34×126	0,2-0,3	26×92	320-630	10-15	0,95-1,5
Т	630-1260	38×137	0,3-0,5	30×108	630-800	15-25	1,1-1,65
СТ	1260-2000	42×152 и более	>0,5	42×152	800-1600	25-35	1,2-2

Ю.В. Турук [16]. Принципы и методы синергетической взаимосвязи функциональных силовых подсистем и системы управления, обеспечивающие адаптацию автоматизированного очистного комплекса к горно-геологическим условиям, рассмотрены в работе [17].

Если на стадии проектирования или при выборе типа и параметров МСК не учтены главные условия его адаптации к горно-геологическим условиям эксплуатации, то эффективная работа лавы оказывается невозможной. Так, например, для разработки рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации МСК типа МСДБТ в лаве с изменяющимися условиями ведения очистных работ (лава 312-а, ш. «Северная» ОАО «Воркутауголь», ОАО «ШахтНИУИ» потребовалось провести детальные исследования с анализом причин неудовлетворительной работы МСК и поиском путей их устранения [18].

При проектировании новых струговых комплексов необходимо также использовать (НТД), разработанные на основе обобщения результатов анализа технико-экономических показателей работы стругов отечественного и зарубежного производства. Таким НТД можно считать национальный стандарт Российской Федерации

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ГОСТ Р 53650-2009 [20].

Стандартом установлена классификация струговых установок по трем типам в зависимости от особенностей их конструктивного устройства (СО, СН, СК).

В зависимости от мощности приводов струга и конвейера, калибров тяговой цепи струга и цепи тягового органа скребкового конвейера струговые установки должны изготовляться трех классов: легкого (Л), среднего (С), тяжелого (Т). Характеристики установок различных классов приведены в табл. 1, а в табл. 2 – показатели их назначения и характеристики отдельных типоразмеров, назначения и характеристики отдельных типоразмеров.

В работе [15] рассматривается четыре класса стуговых установок: легкий, средний, тяжелый и сверхтяжелый, их основные характеристики приведены в табл. 3. Они отражают последние достижения в области создания современных струговых установок и ориентируют проектировщиков на расширение области применения высокоэнерговооруженных установок на пласты крепких углей, в том числе и СУ сверхтяжелого класса – для пластов мощностью до 2,0 м.

Выводы

1. Учитывая большое разнообразие горно-геологических условий залегания и структуры пологих тонких угольных пластов Донецкого бассейна, изменчивость проявления горного давления на крепь и разрушаемый стругом угольный пласт по длине лавы и в направлении подвигания очистного забоя, проектирование АСК как единой системы должно выполняться под конкретные условия его применения с учетом технологии очистных работ и особенностей взаимодействия всех подсистем АСК между собой и с горным массивом.

2. Гидрофицированная крепь в составе базовой системы агрегатирования АСК: «забой-струг-конвейер-щитовая крепь-вмещающие породы» должна обеспечивать ориентацию, перемещение и коррекцию положения стругового комплекса в целом в пространстве лавы, возможность управления положением конвейера и струга в плоскости и профиле пласта по длине лавы с помощью электрогидравлической системы управления.

3. Силовые и режимные параметры подсистем: «забой-струг-конвейер-электроборудование приводов» и «вмещающие породы-щитовая механизированная крепь-гидроборудование-средства управления» должны быть синергетически взаимоувязаны и обеспечивать полную функциональную, параметрическую и конструктивную интегрированность оборудования АСК и способность его адаптации к изменениям горно-геологических условий.

4. Поскольку производительность стругового комплекса зависит от мощности пласта, крепости угля, мощности приводов и вида скоростных режимов подсистемы «струг-конвейер», функциональная и параметрическая адаптация параметров МСК, обеспечивающая наилучшее использование системы «струг-конвейер», должна основываться на стадии проектирования путем использования рекомендаций ГОСТ Р 53650-2009, опыта эксплуатации подобных МСК и возможности варьирования параметрами приводов (мощность и синхронная частота вращения электродвигателей, передаточные числа редукторов, средства защиты и калибры цепных тяговых органов).

5. Основой разработки системы автоматизированного управления МСК должна служить структурно-функциональная схема стругового комплекса, последовательность выполняемых технологических операций и анализ отдельных их составляющих, параметры и технические характеристики частотно-регулируемых электроприводов струга, конвейера и гидрооборудования щитовой крепи.

6. Актуальной является задача оптимизации режимов работы струговых комплексов на основе применения частотно-регулируемого электропривода с замкнутой системой управления по скорости струга и обратными связями по производным от деформаций рабочей и обратной ветвей струговой цепи. Система автоматического управления должна обеспечивать рациональное распределение нагрузки между двигателями и минимизацию упругих колебаний в двухприводной электромеханической системе. Для этого в системе должен автоматически поддерживаться предварительный уровень натяжения цепи для работы взаимосвязанных двигателей в каждом цикле без затрат времени на выбор слабины в цепном контуре [23,24].

7. В современных струговых комплексах мехатронного типа с высокой мощностью приводов струга (2×250; 2×400 и выше) реализуются скорости струга до 2,5-3,6 м/с, при отработке пластов крепкого угля, пластов сложной структуры с волнистой почвой стружками до 15-20 см. В таких условиях неизбежны отказы рабочих инструментов (особенно почвенных) по абразивному износу или поломкам. Для снижения потерь времени на устранение отказов, повышения коэффициента машинного времени и производительности МСК автоматизированная система управления должна обеспечивать техниче-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

скую диагностику рабочих инструментов струго-вого исполнительного органа и быстро изнашиваемых элементов направляющих рештачного става стругового конвейера. Для разработки системы диагностики технического состояния рабочих инструментов струговых исполнительных органов и направляющих струга можно использовать результаты исследований и рекомендации, изложенные в работе [25].

8. В связи с длительными сроками развития и совершенствования струговых установок (СУ, с 1950 г.) и механизированных струговых комплексов (МСК, с 1980 г.) для различных горно-геологических условий залегания и выемки угольных пластов, в настоящее время известны многочисленные отечественные и зарубежные конструктивные исполнения и технические решения. Различаются применяемые терминология и классификационные признаки стругов [1,19], отсутствуют методики для расчета основных силовых и режимных параметров приводов струга и конвейера, что затрудняет обоснование принимаемых решений на стадии проектирования, а также при выборе типа и класса установки под конкретные условия эксплуатации.

9. В развитие рекомендаций, сформулированных в работах [5,15], необходимы разработка научно-обоснованной классификации и систематизации струговой техники на основе единых критериев (признаков), создание нормативно-технических документов (НТД) для успешного решения сложных многофакторных задач проектирования новых и модернизации работающих механизированных и автоматизированных струговых комплексов (МСК) и (АСК).

10. Реализация достоверно обоснованных теоретически и подтвержденных на практике преимуществ струговой технологии и техники выемки угля из тонких пластов в сравнении с комбайновой позволит кардинально повысить производительность и рентабельность работы угольной отрасли на основе существенного снижения энергоемкости процесса угледобычи и повышения сортности добываемого угля по зольности и гранулометрическому составу.

11. Специфика горно-геологических условий залегания и значительные объемы подземной разработки тонких угольных пластов в Донбассе; социальные требования и требования безопасности обслуживания горняками средств механизации обусловливают необходимость разработки и освоения безлюдной струговой технологии выемки тонких угольных пластов на основе автоматизированных струговых комплексов с системой управления с применением интеллектуальных компонентов. На первом этапе это могут быть автоматизированные АСК, не требующие постоянного присутствия рабочих в забое.

Список литературы

1. Луганцев Б.Б. Современное состояние и перспективы развития струговой выемки / Б.Б. Луганцев, Л.И. Файнбурд // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №5. – С. 2-9.
2. Мышляев Б.К. Струг или комбайн – для выемки маломощных пластов / Б.К. Мышляев, И.В. Титов // Уголь. – 2011. – №7. – С. 24-26.
3. Косарев В.В. Новая очистная техника для переоснащения украинских шахт // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 43-49.
4. Новое горно-шахтное оборудование для технического переоснащения угольных шахт / В.В. Косарев [и др.] // Уголь Украины. – 2007. – №2. – С. 3-11.
5. Состояние и перспективы развития струговой выемки в Украине / И.Г. Вассерман [и др.] // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 387-404.
6. Луганцев Б.Б. Модернизация струговых установок и перспективы их применения на шахтах России и Украины / Б.Б. Луганцев, Л.И. Файнбурд // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №1. – С. 11-13.
7. Шрайбер А.А. Современные и перспективные технологии добычи угля / А.А. Шрайбер, В.Б. Редькин // Проблемы общей энергетики: сб. научных трудов Института общей энергетики НАН Украины. – Киев: Институт общей энергетики НАН Украины, 2009. – Вып.17. – С. 7-13.
8. Гуляев В.Г. Пути снижения энергоемкости добычи и повышения сортности энергетических углей и антрацитов / В.Г. Гуляев, П.А. Горбатов, А.Г. Лаптев // Энергосберегающие технологии добычи, транспортирования и переработки твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых: сб. тез. докл. Межд. симпоз., 27-31 мая 1996 г. – Санкт-Петербург, 1996. – С. 3.
9. Гуляев В.Г. Механизация подземной угледобычи в ФРГ / В.Г. Гуляев, И.П. Иванов. – Киев: Гостехиздат УССР, 1962. – 100 с.
10. Пашедаг У. Автоматизированная техника струговой выемки – надежная и высокопроизводительная техника выемки угля, в том

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

числе в сложных горно-геологических условиях // Глюкауф. – 2001. – №2(4). – С. 14-19.
11. Автоматизированные струговые установки DBT. Принцип работы и условия применения: [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://bergmaster.narod.ru/DBT/DBT.pdf
12. Автоматизированные струговые системы CAT//ARX00609-02. [Эл. ресурс]. – Режим доступа: https://mining.cat.com/cda/layout
13. Фосс Х.-В. Средства механизации выемки угля, применяемые в Германии при разработке пластов малой и средней мощности / Х.-В. Фосс, М. Битнер // Глюкауф. – 2006. – №3. – С. 14-19.
14. Мышковский М. Сравнение эффективности струговой и комбайновой выемки в сопоставимых условиях эксплуатации / М. Мышковский, У. Пашедаг: [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10525855
15. Расчет и конструирование струговых установок / Б.Б. Луганцев [и др.]. – М.: Горная книга, 2011. – 291 с.
16. Турук Ю.В. Методы определения силовых и конструктивных параметров механизированных крепей струговых комплексов: спец. 05.05.06 «Горные машины»: дис. … док. техн. наук / Ю.В. Турук. – Новочеркасск, 2014. – 250 с.
17. Методы и средства функциональной, параметрической и конструктивной адаптации оборудования высокопроизводительных очистных комплексов / В.В. Косарев и др. // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 96-110.
18. Повышение адаптивности струговых механизированных комплексов к изменяющимся условиям ведения очистных работ как важнейший фактор // Угольный портал: [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://www.coal.dp.ua
19. Луганцев Б.Б. Классификация исполнительных органов струговых установок отрывного типа / Б.Б. Луганцев, Л.И. Файнбурд, Н.И. Сысоев // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – №3. – С. 9 -14.
20. ГОСТ Р 53650-2009. Струговые установки. Общие технические условия. – Введ. 2009-15-12. – М.: Стандартинформ. – 2011. – 20 с.
21. Гуляев В.Г. Математическая модель системы перемещения струга с двумя частотно-регулируемыми электроприводами / В.Г. Гуляев, С.В. Залесский // Инженер. – 2016. – №1(21)-2 (22). – С. 7.
22. Математическая модель для исследования рабочих процессов частотно-регулируемой вынесенной системы перемещения очистного комбайна / В.П. Кондрахин [и др.] // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: Астро, 2008. – С. 351-369.
23. Волкова Л.П. Исследование динамики струговых установок на модели в условиях переменной жесткости рабочей ветви цепи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №6. – С. 552-566.
24. Волкова Л.П. Измерение труднодоступных координат при управлении электроприводом струга // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005. – №9: [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://cyberlenika.ru
25. Шабаев О.Е. Техническая диагностика резцового исполнительного органа проходческого комбайна: монография / О.Е. Шабаев, И.И. Бридун, Н.В. Хиценко. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2015. – 200 с.

V.G. Gulyaev /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE RELEVANCE AND CHALLENGES OF CREATING AUTOMATED PLOW SYSTEMS FOR MANLESS MINING OF FLAT THIN COAL SEAMS OF THE DONETSK BASIN

Background. *The relevance of the automated plow systems (APS) for plowing of thin flat coal seams in the Donetsk basin (85 % of reserves) on the basis of manless plow technology is due to economic and social factors. These include the acute need to: ensure the profitability of the mines for mining the energy coal and anthracite; improve the performance and safe operation of stoping complexes and staff.*

Materials and/or methods. *The paper analyzes domestic and international trends and problems of the plow technology development. The most difficult of these problems is the creation of automated plow complexes with aggregated panel supports for manless plowing, seam thickness 0.7-1.2 m (63 %).*

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Among the complex problems requiring innovative solutions is the optimization of parameters and modes of operation of the system "plow-conveyor-support", which has the ability to adapt to changing operating conditions on the basis of a mechatronic control system.

Results. *A great variety of geological conditions and structure of thin coal seams of the Donets basin has necessitated the design of APS as a single system under specific operating conditions, taking into account the technology of the stoping works and the nature of the interaction of all APS subsystems of and the rock mass. This requires the implementation of innovative concept of APS based on optimal use of geomechanical, technological and technical factors influencing the condition of the coal seam within the gripper width, allowing efficient use of the phenomenon of slip and natural properties of coal as a destructible material to reduce the energy intensity of mining and increase the grade of coal. Energetic and mode parameters of the subsystem: "face-plow-conveyor-electrical drives" and "rock mass-panel powered support-hydro equipment-controls" need to be synergistically interconnected to provide fully functional, parametric and structural integrity of the APS equipment and its ability to adapt to changes in geological conditions.*

Conclusion. *The analysis of tendencies of the APS development identified the unsolved pending problems and the ways of their solution. The implementation of the theoretically justified and practically confirmed advantages of mining thin coal seams based on the APS (without the constant presence of people in a breakage face) will allow to cardinally increase the productivity and profitability of mining enterprises due to a significant cost reduction of coal mining and enhancing the grade of coal by ash content and granulometric composition.*

Keywords: *geological conditions, thin seams, manless technology, automated plow systems, productivity, safety, profitability.*

Сведения об авторе
В.Г. Гуляев
SPIN-код: 8179-6566
Телефон: +380 (95) 748-72-32
Эл. почта: vggulyaev@gmail.com

Статья поступила 03.11.2016 г.
© В.Г. Гуляев, 2016
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин



НОВИНКИ ИЗД-ВА «ДОНЕЦКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»

Проектирование электроснабжения горных предприятий: уч. пособ. для высш. учебн. заведений / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич, И.В. Ковалёва. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2016. – 155 с. ISBN 978-966-8248-70-2

Представлена методика расчёта системы электроснабжения шахты, включая комплекс электрооборудования поверхности. Представлены варианты методов расчёта отдельных компонентов системы электроснабжения, обоснования принимаемых допущений. Пособие содержит справочный материал с указанием типов и параметров электротехнического и электромеханического оборудования, применяемого на предприятиях угольной промышленности.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 622.531:622.285

В.Г. Гуляев /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Предложены способы повышения технического уровня насосных станций на основе совершенствования динамических свойств, снижения виброактивности и частотного управления электроприводом высоконапорных насосных агрегатов с целью повышения надежности и адаптивности насосных станций к условиям и режимам работы гидропривода механизированных крепей очистных комплексов.

Ключевые слова: *насосный агрегат, динамические свойства, виброактивность, электропривод, безопасность, надежность, адаптивность, эффективность.*

Постановка проблемы

Важной научно-технической проблемой угледобывающих стран является создание и эффективное применение надежных и высокопроизводительных очистных комплексов. Основой современных очистных комплексов служат комбайны или струги и агрегатированные с конвейером гидрофицированные крепи. Гидрофицированные крепи с автономной насосной станцией (НС) являются базой агрегатирования, управляющей положением всего очистного комплекса и отдельных его машин в пространстве лавы.

Технический уровень энергонасыщенных НС, в частности вибрационная нагруженность и надежность, определяется в основном рабочими и виброакустическими параметрами высоконапорных насосных агрегатов (ВНА), динамическими свойствами их электропривода и способом управления рабочими режимами агрегатов.

Опыт эксплуатации НС с ВНА отечественного и зарубежного производства показал, что их виброакустические характеристики, показатели надежности и адаптивности к условиям эксплуатации не соответствуют современным требованиям. Это определяет актуальность задач исследования и совершенствования ВНА – сложных управляемых динамических объектов, с целью радикального повышения технического уровня НС очистных комплексов.

Анализ последних исследований и публикаций

Теоретические и экспериментальные исследования современных $ВНА_{тс}$ (традиционной структуры), с целью снижения их виброактивности и повышения эксплуатационной надежности и безопасности, выполнены на кафедре «Горные машины» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Методы исследований, их результаты, выводы и рекомендации по повышению надежности $ВНА_{тс}$ изложены в монографии [1].

Исследования динамических свойств электромеханических приводов ВНА с кривошипно-шатунными механизмами (КШМ), а также результаты исследований влияния характеристик приводных двигателей на динамику рабочих процессов насосных агрегатов типов СНТ32, СНТ40 и СНД100/32 позволили впервые выявить причины формирования в приводе $ВНА_{тс}$ крутильных колебаний резонансного характера. Доказано, что несовершенство динамических свойств исследованных ВНА является одной из основных причин снижения их надежности и высокой виброакустической активности (согласно ТУ для НС типа СНД установлен корректированный уровень звуковой мощности (110 дБА), что превышает санитарную норму шума (80 дБА).

В современные НС типа СНД 150/40, СНД 300/40 и др., комплектуемые двумя насосными агрегатами и аппаратурой АУСН специалистами ГП «Донгипроуглемаш» внесен ряд усовершенствований:

– для привода агрегата принят короткозамкнутый асинхронный двигатель (АД) типа 2ЭДКОФ-250LB4-У2,5 (n_c=1500 об/мин) с жесткой механической характеристикой ($S_н$=1,8 %), моментом инерции ротора ($J_р$=1,14 кгм^2), номинальной мощностью ($P_{2н}$=110 кВт), напряжение 1140/660 В (50 Гц) с коэффициентом перегрузочной способности ζ=3,2;

– для повышения надежности и долговечности деталей агрегата, в условиях действия пульсирующих и вибрационных нагрузок, в конструкцию гидроблоков и подшипниковых узлов

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

агрегата внесены конструктивные и технологические изменения с целью обеспечения наработки на отказ 100 часов и ресурса на менее 15000 ч [2].

Исследование динамических свойств пятиплунжерных ВНА$_{тс}$ насосных станций СНД 150/40 (СНД 300/40) выполнено в работе [3]. Установлено, что в условиях питания от реальной шахтной сети, $U_ф$=(0,85-0,9)$U_{ном}$, электропривод ВНА$_{тс}$, при возмущении от первой гармоники, работает практически в резонансном режиме: (z≅0,9-1) при высоких значениях коэффициентов динамичности ($K_Д$=1,7 для привода ВНА) и $K_Д$= =2,5 – для АД 2ЭДКОФ-250LB4-У2,5. При этом размахи угловой скорости АД $\tilde{\omega}_д$ =8,7 рад/с, а неравномерность его вращения – 5,6 %.

Анализ опытных данных ИТЦ «Горные машины» показал также, что в ВНА$_{тс}$ НС типов СНД 150/40, СНД 300/40 фиксировалось значительное число отказов после наработки ниже нормативной. Это подтверждает их недостаточную надежность и необходимость совершенствования динамических свойств и способа управления рабочими режимами ВНА.

Результаты работ [1,2,3] относятся к НС с ВНА$_{тс}$ с трехплунжерными и пятиплунжерными силовыми насосами и дискретным способом регулирования их подачи. Электромеханический привод ВНА$_{тс}$ подвержен интенсивным вибрационным нагрузкам резонансного характера в установившихся и переходных режимах работы. На базе результатов выполненных исследований обоснованы способы целенаправленного управления динамическими свойствами современных ВНА на стадии проектирования: переход на безредукторный привод высоконапорного насоса и отказ от дискретного способа регулирования подачи рабочей жидкости в напорную линию гидропривода крепи позволяют кардинально снизить виброактивность и повысить надежность насосного агрегата [1].

Тенденции создания современных отечественных и зарубежных НС рассмотрены в работе [4]. В их основе применение высокотехнологичного силового оборудования и автоматизированных адаптивных систем управления рабочими параметрами ВНА НС в соответствии с технологией и режимом работы очистного механизированного комплекса. Так, в работе [5] отмечаются преимущества применения плавного способа регулирования подачи насоса на основе изменения скорости вращения приводного электродвигателя с частотным преобразователем в диапазоне от 30 до 100 %. Однако при широком диапазоне регулирования скорости АД ВНА неизбежны, как правило, резонансные явления в приводе при совпадении частоты возмущений с собственной частотой агрегата.

В работах [6,7] рассмотрены практически все возможные случаи прохождения через резонанс линейной динамической системы с одной степенью свободы, отмечены особенности их протекания с учетом демпфирования. Однако установленные закономерности и определение скорости прохождения через резонанс крутильной системы с электродвигателем выполнены без учета его динамической характеристики.

Вместе с тем известно [8, с. 42], что при высоких отношениях электромагнитной постоянной $T_э$ АД к электромеханической постоянной привода $T_{ПА}$ (V_T=$T_э$/$T_{ПА}$>>1), что характерно для рассматриваемых ВНА$_{тс}$, переходные процессы в двигателе оказывают весьма существенное влияние на значения коэффициента динамичности и амплитуды крутильных колебаний в приводе [1,3].

Таким образом, очевидна необходимость исследований динамики безредукторных ВНА$_{чу}$ с учетом влияния переходных процессов в АД на динамические свойства и виброактивность насосного агрегата при установившихся и переходных режимах.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является:

– исследование динамических процессов в ВНА$_{чу}$ с безредукторным частотно-регулируемым приводом;

– обоснование способа частотного управления (с учетом динамических параметров системы и закона регулирования) с целью минимизации амплитуд крутильных колебаний в стационарных зарезонансных режимах работы и при прохождении через резонанс;

– оценка эффективности предложенных способов снижения амплитуд крутильных колебаний, виброактивности и шума модернизированных энергонасыщенных ВНА с пятиплунжерными насосами.

Основной материал исследования

Для совершенствования динамических свойств и снижения виброактивности ВНА$_{тс}$ с пятиплунжерными насосами применим рекомендации работ [1,3,6,7].

Решение поставленных задач рассмотрим на примере виртуального ВНА НС типа СНДМ 180/40 с АД типа ВАО2-315М8. Динамическую модель исследуемого объекта представим в виде системы: «АД-эксцентриковый вал КШМ-пятиплунжерный силовой насос-повышающая зубчатая передача-подпиточный насос» (рис. 1),

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

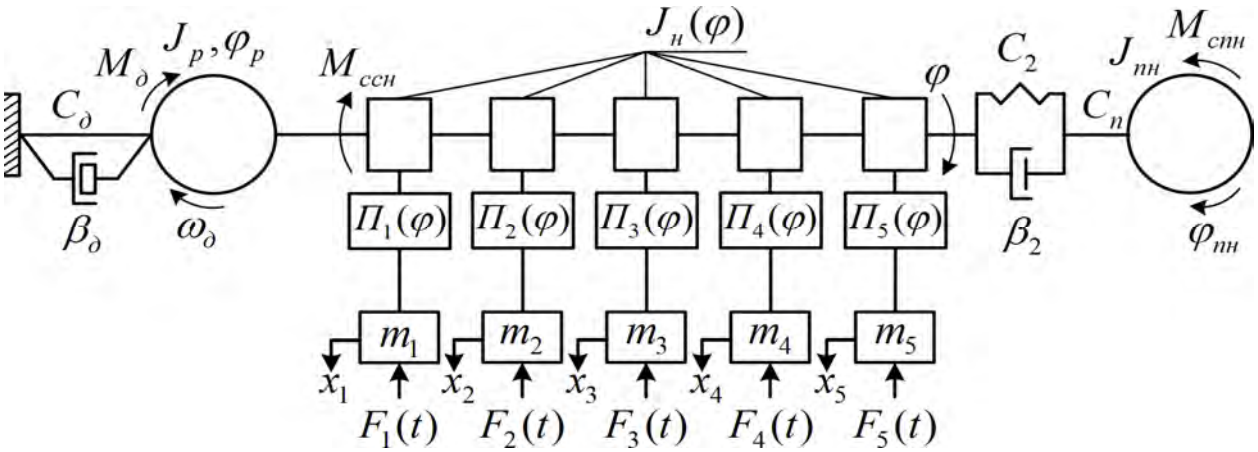


Рис. 1. Динамическая модель ВНА с безредукторным приводом силового насоса (все параметры крутильной системы приведены к валу АД): J_p, φ_p – момент инерции и угол поворота ротора АД; $\omega_д$, $C_д$ и $\beta_д$ – угловая скорость, коэффициенты крутильной жесткости и демпфирования АД; $M_{ссн}$ – момент сил сопротивления в приводе силового насоса; φ – угол поворота эксцентрикового вала; $J_н(\varphi)$ – переменный момент инерции силового насоса с кривошипно-шатунным приводом ползунов; $\Pi_1(\varphi)=\Pi_2(\varphi)=\Pi_3(\varphi)=\Pi_4(\varphi)=\Pi_5(\varphi)$ – нелинейные функции преобразования вращательного движения эксцентрикового вала в возвратно-поступательное движение толкателей (ползунов)

(структурная схема системы частотного управления АД рассматривается ниже).

$$\Pi(\varphi) = x \approx r\left[1-\cos\varphi+0{,}25\lambda(1-\cos 2\varphi)\right]; \quad \text{если } \lambda = r/l \le 0{,}1, \qquad (1)$$

где r – радиус кривошипа; $\lambda=r/l$ – отношение радиуса кривошипа r к длине l шатуна. m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 – массы ползунов; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – линейные координаты ползунов; $F_1(t)$, $F_2(t)$, $F_3(t)$, $F_4(t)$, $F_5(t)$ – силы давления рабочей жидкости на плунжера; C_2, β_2 – коэффициенты крутильной жесткости и демпфирования повышающей зубчатой передачи (U_2=87/17≈5,12); $C_п$ – коэффициент крутильной жесткости приводного вала подпиточного центробежного насоса; $J_{пн}$ – момент инерции рабочих колес подпиточного насоса; $M_{спп}$ – момент сил сопротивления в приводе подпиточного насоса.

В составе рассматриваемой динамической модели ВНА можно выделить две парциальные системы (с одной степенью свободы):

1) электромеханическую систему привода агрегата, динамические свойства которой определяются в основном параметрами двигателя и 5-плунжерного силового насоса;

2) механическую систему «КШМ – насос», ее динамические свойства определяются нелинейной функцией $\Pi(\varphi)$ КШМ и соотношением между собственной частотой колебаний системы и частотой возмущений.

Исследование динамических свойств ВНА с безредукторным приводом пятиплунжерного силового насоса

Пренебрегая упругими и диссипативными характеристиками механической части ВНА, уравнение его движения запишем в виде [1]:

$$\left[J_p + J_н(\varphi)\right]\frac{d\omega_д}{dt} + 0{,}5\omega_д^2\frac{dJ(\varphi)}{d\varphi} = M_д - M_c\,. \qquad (2)$$

Дифференциальное уравнение (2) нелинейное с переменными коэффициентами в левой части. В правой его части вращающий момент двигателя $M_д$ определяется его динамической характеристикой:

$$\omega_д = \omega_0\left[1-\nu\left(M_д + T_э\frac{dM_д}{dt}\right)\right], \qquad (3)$$

где $\omega_д$, ω_0 – угловая скорость ротора двигателя и скорость его идеального холостого хода ($\omega_0=\omega_c/p$, c^{-1}; ω_c – круговая частота питающей сети, p – число пар полюсов); $T_э$ – электромагнитная постоянная времени АД ($T_э=1/\omega_c S_k$, с, где $\omega_c=2\pi f_c=314$ c^{-1} при f_c=50 Гц; S_k – критическое скольжение АД); $\nu=S_k/2M_k$ – крутизна статической характеристики АД.

Переменный момент инерции насосов $J_н(\varphi)$ можно представить в виде:

$$J_н(\varphi) = \bar{J}_н + \tilde{J}_н(\varphi) \approx \bar{J}_н = const\,,$$

где $\bar{J}_н$ – постоянная составляющая суммы приведенных моментов инерции силового и подпиточного центробежного насоса; $\tilde{J}_н(\varphi)$ – пере-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

менная часть момента инерции силового насоса, которой в первом приближении можно пренебречь [1].

С учетом допущения $\tilde{J}_н(\varphi)=0$, уравнение (2) примет вид:

$$\left(J_р+\bar{J}_н\right)\frac{d\omega_д}{dt}=M_д-M_с. \qquad (4)$$

Решая совместно уравнения (3) и (4), получим:

$$\nu T_э J_{ПА}\frac{d^2\omega_д}{dt^2}+\nu J_{ПА}\frac{d\omega_д}{dt}+\frac{\omega_д}{\omega_0}= =1-\nu\left(M_с+T_э\frac{dM_с}{dt}\right), \qquad (5)$$

где $J_{ПА}=J_р+\bar{J}_н=const$ – приведенный к валу АД момент инерции насосного агрегата.

С целью линеаризации уравнения (5) представим момент сил сопротивления $M_с(t)=\bar{M}_с+\tilde{M}_с(t)$, а угловую скорость АД $\omega_д(t)=\bar{\omega}_д+\tilde{\omega}_д(t)$ [1].

Постоянную составляющую $\bar{\omega}_д$ определим, пользуясь статической характеристикой АД при $\bar{M}_д=\bar{M}_с$: $\bar{\omega}_д=\omega_0(1-\nu\bar{M}_с)$.

Подставив полученное выражение $\bar{\omega}_д$ в уравнение (5), после ряда преобразований получим линеаризованное дифференциальное уравнение динамики привода ВНА в виде неоднородного уравнения второго порядка относительно переменной составляющей угловой скорости ротора электродвигателя $\tilde{\omega}_д$:

$$\frac{d^2\tilde{\omega}_д}{dt^2}+2n\frac{d\tilde{\omega}_д}{dt}+k^2\tilde{\omega}_д=W(t), \qquad (6)$$

где $n=0{,}5T_э^{-1}$ – коэф. вязкости демпфирующих сил, с$^{-1}$; $k^2=(\nu T_э J_{ПА}\omega_0)^{-1}$ – квадрат собственной круговой частоты колебаний привода; правая часть уравнения (6) – это функция возмущения

$$W(t)=-\frac{1}{J_{ПА}}\left(\frac{\tilde{M}_с(t)}{T_э}+\frac{d\tilde{M}_с(t)}{dt}\right),$$

отражающая воздействие на привод моментов полезных сил сопротивления $M_{ссн}(t)$ и сил инерции $M_{си}(t)$.

Суммарный момент сил сопротивления $M_с(t)$, приведенный к валу АД, можно представить в виде:

$$M_с(t)=M_{ссн}(t)+M_{спн}(t)= =\bar{M}_с+\tilde{M}_{ссн}(t)+M_{си}(t),$$

где $\bar{M}_с$ – средняя составляющая полезной технологической нагрузки в приводе силового и подпиточного насосов; $\tilde{M}_{ссн}(t)$ – переменная составляющая технологической нагрузки (силовое возбуждение); $\tilde{M}_{си}(t)$ – переменная составляющая момента сопротивления, обусловленная действием инерционных сил в приводе насоса с КШМ с функцией положения $П(\varphi)$ (кинематическое возбуждение) [1,3].

Весьма малыми переменными составляющими $\tilde{M}_{ссн}(t)$ в нагрузке подпиточного центробежного насоса в первом приближении можно пренебречь.

Определив $\tilde{M}_{ссн}(t)$, $\tilde{M}_{си}(t)$ и $W(t)$, можно решить уравнение (6) и установить амплитуды и частоту крутильных колебаний ротора АД, оценить неравномерность его угловой скорости $\omega_д$, наличие или отсутствие резонансных режимов.

Используя выводы работ [1,3], для достижения рекомендуемых значений коэффициентов расстройки частот $z\geq(1{,}5\text{-}2)$, с целью исключения резонанса в стационарном режиме, выбираем приводной АД типа ВАО2-315М8 с номинальной мощностью $P_{2н}$=132 кВт, синхронной частотой 750 об/мин, S_i=1,3 % и GD^2=350 Нм^2 [3].

Необходимые для решения уравнения (6) параметры привода виртуального насосного агрегата СНДМ180/40 приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в условиях питания от реальной шахтной сети, $U_ф=(0{,}9\text{-}1)U_{ном}$, электропривод ВНА при возмущении от первой гармоники (77,48 с$^{-1}$) работает в зарезонансном режиме: ($z\cong1{,}53\text{-}1{,}62$), при значениях $\upsilon_{ТП}$=0,95 и $\upsilon_Т$= =1,2, а следовательно, и при низких коэффициентах динамичности $K_Д\leq(0{,}6\text{-}0{,}7)$.

Для этого режима работы ВНА функция возмущения

$$W(t)=-A_n\sin(\omega_э t+54^\circ14'),$$

где A_n=|2353| рад/с^3 – амплитуда первой гармоники $W(t)$, характеризующая скорость изменения углового ускорения при установившихся крутильных вибрациях.

Решением уравнения (6) при учете возмущения только от первой гармоники будет:

$$\tilde{\omega}_д=\tilde{\omega}_д^{(1)}\sin(\omega_э t+\psi_1-\Delta_1),$$

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 1. Параметры виртуального ВНА 180/40 с АД типа ВАО2-315М8

№ п/п	Наименование параметра	Формула для расчета	Значение параметра
1	Номинальный момент АД, Н·м	$M_н = \frac{9550 P_{2н}}{n_c(1-S_н)}$	1703
2	Критическое скольжение АД, %	$S_к = S_н\left(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}\right)$	5,4
3	Крутизна статической характеристики АД, $(Н·м)^{-1}$	$\nu = \frac{S_к}{2M_к}$	$7{,}2\cdot10^{-6}$
4	Электромагнитная постоянная времени АД, с	$T_э = (\omega_c S_к)^{-1}$	0,059
5	Момент инерции ротора АД, $кгм^2$	$J_р = \frac{GD^2}{4g}$	8,92
6	Механическая постоянная времени АД, с	$T_м = \nu\omega_0 J_р$	0,049
7	Отношение постоянных времени АД	$\upsilon_T = \frac{T_э}{T_м}$	1,2
8	Приведенный к валу АД момент инерции агрегата, $кгм^2$	$J_{ПА} = J_р + J_н$	11,23
9	Механическая постоянная привода ВНА, с	$T_{МА} = \nu\omega_0 J_{ПА}$	0,062
10	Отношение постоянных времени привода ВНА	$\upsilon_{ТП} = \frac{T_э}{T_{МА}}$	0,95
11	Коэффициент крутильной жесткости АД, Нм/рад	$C_д = 2pM_к$	29971,1 (26974,0)
12	Собственная частота привода без учета демпфирования, $с^{-1}$	$K'_п = \sqrt{\frac{C_д}{J_{ПА}}}$	51,2 (48,5)
13	Коэффициент вязкости демпфирующих сил, $с^{-1}$	$n = 0{,}5T_э^{-1}$	8,47
14	Относительный коэффициент демпфирования	$\delta = \frac{n}{K_{пр}}$	0,165
15	Собственная частота колебаний привода с учетом демпфирования, $с^{-1}$	$K_П = K_П\sqrt{1-\delta^{-2}}$	50,48 (47,84)
16	Частота возмущений от эксцентрикового вала КШМ, $с^{-1}$	$\omega_э = \frac{\pi n_э}{30}$	77,48
17	Коэффициент расстройки частот возмущений и собственной	$z = \frac{\omega_э}{K_{пр}}$	1,53 (1,62)
18	Коэффициент динамичности	$K_Д = ((1-z^2)^2 + 4\delta^2 z^2)^{-0,5}$	0,7 (0,6)
19	Амплитуда $M_c(t)$ инерционных сил, Нм	$\tilde{M}_c(t) = A_n \sin(\omega_э t + \varphi)$	285,58
20	Амплитуда возмущений $W(t)$, $рад/с^3$	$W(t) = \frac{T_э^{-1}\tilde{M}_c(t) + \frac{d\tilde{M}_c(t)}{dt}}{J_{ПА}}$	$\lvert 2353{,}5 \rvert$
21	Амплитуда первой гармоники угловой скорости АД, рад/с	$\tilde{\omega}_д^{(1)} = \frac{A_n}{\sqrt{(K_{пр}^2 - \omega_э^2) + 4n^2\omega_э^2}} = 0{,}47 - 0{,}55$ рад/с	(0,47-0,55)
22	Неравномерность скорости вращения АД (эксц. вала),%	$\frac{2\tilde{\omega}_д^{(1)}}{\bar{\omega}_д}\cdot 100\%$	1,42 (1,22)

Примечание: В скобках указаны значения соответствующих параметров при $U_ф$=0,9$U_{ном}$(В); снижение $U_ф$ приводит к уменьшению жесткости механической характеристики АД и коэффициента динамичности.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

где $\Delta_1 = arctg\dfrac{2n\omega_э}{K_{пр}^2 - \omega_э^2} = 79^0 11^{/}$; $\omega_э$=77,48 с$^{-1}$.

Согласно [1], амплитуда первой гармоники угловой скорости АД, с учетом коэффициента динамичности $K_Д$=0,6-0,7, будет:

$$\tilde{\omega}_д^{(1)} = \frac{A_n}{\sqrt{(K_{пр}^2 - \omega_э^2) + 4n^2\omega_э^2}} = 0{,}47 - 0{,}55 \text{ рад/с}.$$

Размахи $\tilde{\omega}_д$ при крутильных вибрациях ротора на частоте 77,48 с$^{-1}$ составляют $2\tilde{\omega}^{(1)}$ =1,1 рад/с, неравномерность угловой скорости ротора АД – 1,42 %, а при $K_Д$=0,6-1,22 %.

При безредукторном приводе такими же будут крутильные вибрации эксцентрикового вала КШМ. Фактический частотный спектр крутильных вибраций шире, так как функция $П(\varphi)$ в общем случае обуславливает полигармонические колебания момента, формируемого силами инерции:

$$\tilde{M}_{си}(t) = \sum A_i \cos\left[i(\omega_э t + \varphi_i)\right],$$

где i=1-n – число гармоник, кратных основной частоте возмущений $\omega_э$; A_i, φ_i – амплитуда и фаза i-той гармоники (гармониками выше второй можно, как правило, пренебречь).

Отметим, что крутильные колебания в приводе ВНА$_{тс}$ СНД 150/40 с АД типа 2ЭДКОФ-250LB4 (n_c=1500 об/мин) характеризуются [3]: значением υ_T>>1, размахами колебаний угловой скорости АД $\tilde{\omega}_д$=8,7 рад/с и неравномерностью его вращения 5,6 %. Анализ полученных результатов подтверждает обоснованность рекомендованных в работах [1,3] способов совершенствования динамических свойств ВНА путем оптимизации их структуры и параметров приводных двигателей.

При номинальном режиме работы рассматриваемых ВНА (Q=180 л/мин, P=40 МПа) амплитудный и частотный спектры вибраций формируются при совместном воздействии на привод инерционной и полезной технологической нагрузки. В первом приближении $M_{ссн}(t)$≈(1600+ +80cos($\omega_э t$)-12cos(2$\omega_э t$)) Нм, где амплитуда первой гармоники 80 Нм соответствует неравномерности подачи пятиплунжерного насоса – 5 %.

Выбор способа частотного управления.

Для разработки ВНА$_{чу}$ с безредукторным электроприводом, обеспечивающим зарезонансный, практически безвибрационный установившийся режим работы, необходимо:

1) обосновать рациональный диапазон и способ частотного управления АД;

2) исследовать процессы прохождения через резонанс системы электропривода ВНА$_{чу}$ как при возрастающей, так и при снижающейся частоте кинематических и силовых возмущений.

Для снижения коэффициентов динамичности и виброактивности ВНА с пятиплунжерными насосами в переходных режимах при частотном управлени скоростью АД ВАО2-315М8 можно применить рекомендации работ [6,7], совместив при этом диапазон регулирования скорости АД с зарезонансной областью 1,5≤z≤2,5. При этом коэффициенты динамичности будут изменяться в диапазоне $K_Д$≤(0,6-0,9).

В общем случае, как известно [9], при частотном управлении АД напряжение на зажимах статора может регулироваться как в функции частоты ($\alpha=f_1/f_{1н}$), так и в функции момента нагрузки M_c. При этом изменяются все физические величины, характеризующие рабочий режим двигателя: напряжение на его зажимах $U_1 \cong E_1$, магнитный поток Φ_1, вращающий момент M_1, мощность $P_д$, перегрузочная способность двигателя $\xi = \dfrac{M_k}{M_н}$ и скорость ω.

Если в диапазоне регулирования частоты от f_1 до $f_{1н}$ необходимо обеспечить практически постоянную перегрузочную способность двигателя при различных моментах нагрузки M_1 и $M_н$, то требуется выполнить условие:

$$\frac{E_1}{E_{1н}} = \frac{f_1}{f_{1н}}\left(\frac{M_1}{M_н}\right)^{-0,5}.$$

При M_1=$M_н$=*const* напряжение, подводимое к статору двигателя, должно изменяться пропорционально частоте тока.

В области $\alpha=f_1/f_{1н}\le 1$ ($f_{1н}$=50 Гц) управление по минимуму тока близко к оптимальному в смысле минимума энергетических потерь. Поэтому, с учетом относительной простоты его реализации, управление по минимуму тока можно считать технически оптимальным управлением.

Лучшими показателями адаптивности и экономичности обладают, как известно [9], системы оптимального частотного регулирования по минимуму потребляемой двигателем активной мощности, при обеспечении заданных моментных характеристик во всем диапазоне частот. Поэтому в основу разработки можно принять структурную схему оптимального частотного управления по минимуму потерь, предложенную в работе [9, рис. 6 и 19, с. 199].

Оценку динамики переходных процессов в ВНА$_{чу}$ можно выполнить приближенно, по-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

скольку в рассматриваемых электрогидродинамических системах двигатель обладает значительным резервом мощности. Это позволяет не учитывать обратную связь двигателя с нагрузкой в переходных режимах пуска, выбега и прохождения через резонанс. Следовательно, вместо уравнения динамической характеристики АД (3) можно использовать статическую механическую характеристику Клосса: $M(s)=2M_к(s/s_к+s_к/s)^{-1}$, которая в функции угловой скорости имеет вид:

$$M(\omega_\partial)=M_к s_к\left(1-\frac{\omega_\partial}{\omega_0}\right)\left(1+s_к{}^2+\left(\frac{\omega_\partial}{\omega_0}\right)^2-2\frac{\omega_\partial}{\omega_0}\right)^{-1}.$$

Угловое ускорение $\varepsilon(t)$ в переходном режиме определяем по формуле:

$$\varepsilon(t)=\frac{\left[M(\omega_\partial)-M_c(\omega_\partial)\right]}{J_{na}}.$$

Момент сил сопротивления $M_c(\omega_\partial)$ при пуске АД без нагрузки можно принять в первом приближении равным нулю. При разгоне под действием технологической нагрузки, пропорциональной угловой скорости силового насоса, момент сил сопротивления можно выразить как:

$$M_c(\omega_\partial)=M_н\left(\frac{\omega_\partial}{\omega_0}\right)(1-s_н)^{-1},$$

где $s_н$ – номинальное скольжение АД.

Под действием неуравновешенной инерционной нагрузки, зависящей от квадрата переменной угловой скорости привода ВНА, момент сил сопротивления рекомендуется определять по зависимости [7]:

$$M_c(\omega_\partial)=M_н\left(\frac{\omega_\partial}{\omega_0}\right)^2(1-s_н)^{-2}.$$

Используя выражения $M(\omega_\partial)$ и $M_c(\omega_\partial)$, можно оценить характер изменения углового ускорения $\varepsilon(t)$ и длительность рассматриваемых переходных режимов.

В высоконагруженных лавах оба насосных агрегата включаются в параллельную работу на общую магистраль лавокомплекта крепи. При этом необходимо обеспечить равномерную нагрузку приводных двигателей в рабочем частотном диапазоне с учетом отличий их механических характеристик.

Уравнение механической характеристики частотно-регулируемого АД можно представить в виде: $M_i=2M_к\alpha_f{}^\delta/(s_i\alpha_f/s_к+s_к/s_i\alpha_f)^{-1}$, а закон регулирования: $\underline{U}=\underline{U}_н\alpha_f{}^\delta$, где M_i и s_i – i-тые значения момента и скольжения (i=1, 2); $M_к$ – критический момент двигателя; $\alpha_f=f_i/f_н$ – относительная частота напряжения (тока) статора; $f_н$=50 Гц – номинальная частота напряжения (тока) статора; δ – характеристика закона регулирования: δ=1, если $\alpha_f<1$, при $\alpha_f>1$ δ=0; $\underline{U}$ и $\underline{U}_н$ – напряжение на статоре и номинальное напряжение.

Устойчивый момент частотно-регулируемого АД можно определить по зависимости:

$$M_y(\alpha_f)=M_к(\alpha_f)(1+3\nu)^{-1},$$

где $\nu\cong(0{,}12\text{-}0{,}13)$ – коэффициент вариации нагрузки привода ВНА при $0{,}7\le\alpha_f\le1{,}2$.

В тех случаях, когда нельзя пренебречь переменным приведенным к АД моментом инерции механизма привода ВНА, необходимо применять математическую модель движения ВНА на основе уравнений (1), (2), (3), т.е. с учетом периодической изменчивости кинетической энергии насосного агрегата и динамической характеристики асинхронного двигателя.

Окончательно схема и закон частотного управления приводом $ВНА_{чу}$ должны быть адаптированы к технологии и режиму работы оборудования очистного комплекса путем согласования их с принятыми средствами автоматизации. В насосных станциях, комплектуемых двумя энергонасыщенными ВНА, можно, по-видимому, применить частотно-регулируемый электропривод фирмы «Бройер Моторен», обеспечивающий постоянство вращающего момента в широком диапазоне регулирования скорости двух взаимосвязанных АД [10].

Выводы

Реализация предлагаемых технических решений (применительно к $ВНА_{чу}$ СНДМ 180/40 с АД ВАО2-315 с P_2=132 кВт; n_c=750 об/мин и маховым моментом GD^2=350 Нм^2 в условиях питания от реальной шахтной сети) позволяет:

1. Получить в номинальном рабочем режиме коэффициент расстройки частот Z=1,53-1,62 и исключить возможность стационарных резонансных крутильных колебаний в приводе – основную причину интенсивных вибраций ВНА;

2. Обеспечить высокую равномерность скорости вращения АД и эксцентрикового вала при работе ВНА в зарезонансной зоне с коэффициентами усиления $K_Д\le(0{,}6\text{-}0{,}7)$ при пониженных уровнях вибраций и шума;

3. Исключить из состава привода $ВНА_{тс}$ понижающую зубчатую передачу ($U_{зп}$=2,5) – активный источник вибрации и шума;

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

4. Повысить рабочие параметры ВНА (Q= =180 л/мин; p=40 МПа) с двигателем мощностью P_2=132 кВт при пониженной неравномерности подачи и динамики рабочего процесса ВНА с 5-плунжерным насосом;

5. Адаптировать к технологии работы и эксплуатационным потребностям очистного комплекса рабочие параметры $ВНА_{чу}$ при плавном регулировании частоты вращения эксцентрикового вала в диапазоне 518-900 об/мин при $0,7 \le \alpha_f \le 1,2$ ($f_{1н}$=50 Гц).

Факторами повышения ресурса и снижения виброактивности рассматриваемых ВНА являются: устранение из состава привода зубчатой передачи, исключение резонансных крутильных колебаний в приводе силового насоса в номинальном стационарном режиме и существенное уменьшение амплитуд колебаний в области частотного регулирования в зарезонансной зоне при $K_Д$<1. Кроме того, в четыре раза (по сравнению с n_c=1500 об/мин) уменьшаются центробежные силы от вращающихся ротора двигателя и эксцентрикового вала, при допустимых (остаточных) уровнях их динамической неуравновешенности.

Ожидаемый эффект – повышение ресурса ВНА до проектных значений (не менее 15000 ч) и снижение уровня звуковой мощности не менее, чем на 20 дБА.

Список литературы

1. Гуляев В.Г. Виброакустические процессы и надежность гидроэнергетических установок очистных комплексов: монография / В.Г. Гуляев, К.В. Гуляев, С.А. Китаева. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2012. – 224 с.
2. Насосные станции ГП «Донгипроуглемаш» нового поколения как источник гидравлической энергии в составе гидропривода механизированных крепей / В.В. Косарев [и др.] // Сб. науч. тр. ГП «Донгипроуглемаш». – Донецк: ГП «Донгипроуглемаш». – 2008. – С. 484-492.
3. Гуляев В.Г. Способы повышения надежности насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей / В.Г. Гуляев, И.А. Квитковский, С.А. Китаева // Вести Донецкого горного института. – 2013. – №1. – С. 117-131.
4. Тенденции и проблемы создания современных насосных станций для угледобывающих комплексов / В.Г. Гуляев [и др.] // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. – 2013. – Вып.1(25). – С. 57-71. (сер.: гірничо-електромеханічна).
5. Замланд У. Преимущества использования рядных поршневых насосов с применением электродвигателей с частотным преобразователем / У. Замланд, А. Дайк, С.А. Кузнецов // Глюкауф. – 2011. – №1(2). – С. 78.
6. Голоскоков Е.Г. Нестационарные колебания механических систем / Е.Г. Голоскоков, А.П. Филиппов. – К.: Наукова думка, 1966. – 336 с.
7. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
8. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1969. – 370 с.
9. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
10. Тишкевитц А. Электроприводы фирмы «Бройер Моторен» с регулируемой частотой вращения // Глюкауф. – 2012. – №1(2). – С. 38-40.

V.G. Gulyaev /Dr.Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

WAYS TO IMPROVE THE TECHNICAL LEVEL OF PUMPING STATIONS FOR MECHANIZED ROOF SUPPORTS OF THE SHEARERS

Background. *The relevance of raising the technical level of the pumping stations for the hydraulic systems of powered roof supports is due to the mismatch of the vibratory and operational characteristics of high-pressure pump units (HPPU) to modern requirements and adaptivity of their operating parameters to technology and modes of operation of shearer systems. The technical level of the pump stations is mainly determined by dynamic properties and vibratory activity of HPPU with an electromechanical actuator, which significantly depend on the structure of the unit, the dynamic characteristics of drive motors, kinematic and dynamic characteristics of the crank mechanism, and characteristics of the power pump and method of regulating its operating parameters.*

Materials and/or methods. *In the paper the results of previously performed investigations of pumping units of the traditional structure analyzed, mathematical models for the dynamics of direct-drive pumping units with five-plunger pumps developed and implemented in the form of a linear differential*

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

equation of second order with respect to the variable component of the angular velocity of the asynchronous motor (AM), considering the dynamic characteristics of AM and its interaction with the power pump. The developed dynamic and mathematical models of HPPU allow at the design stage to specifically control the dynamic properties and vibratory activity of pumping units based on the optimization of their structure and parameters to improve the operational adaptivity, reliability, and security. Considered are the methods of frequency control of the electric drives of HPPU, and selection of the most technically optimal way of controlling the AM at the minimal losses justified while providing the desired torque characteristics of the engines in the ranges of rotation frequency regulation. The dynamic properties of the direct-drive high-pressure pumping units type SNDM 180/40 with a frequency controlled asynchronous motor provide the above resonance mode of operation of the unit at high smoothness of a low-speed engine and the eccentric shaft of the drive of a five-plunger power pump in stationary and transient frequency regulation at lowered (approximately to 20 dBA) levels of vibroacoustic characteristics.

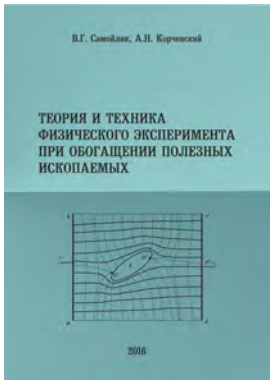
Results. *The obtained results can be used as the scientific and methodological basis for solving the above-mentioned problems, and for the project development of the modernization of high-pressure five-plunger pumping units type SND150/40 with a variable frequency drive.*

Conclusion. *In the future, it is advisable to perform studies of the dynamics of powerful high-speed pumping units taking into account the trends of extending the range of frequency control of asynchronous motors, increasing velocities and accelerations of the rotating and reciprocating masses in the drive of the power pump.*

Keywords: *pumping unit, electric drive, dynamic properties, vibratory activity, safety, reliability, adaptability, efficiency.*

Сведения об авторе
В.Г. Гуляев
SPIN-код: 8179-6566
Телефон: +380 (95) 748-72-32
Эл. почта: vggulyaev@gmail.com

Статья поступила 04.11.2016 г.
© В.Г. Гуляев, 2016
Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко



НОВИНКИ ИЗД-ВА «ДОНЕЦКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»

Теория и техника физического эксперимента при обогащении полезных ископаемых: уч. пособ. / В.Г. Самойлик, А.Н. Корчевский. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2016. – 205 с. ISBN 978-966-8248-74-0

Изложены основные понятия об измерениях физических величин. Приведены теоретические основы физического моделирования технологических процессов, результаты исследований, связанных с моделированием и расчётом схем обогащения. Изложены методы планирования, проведения эксперимента и обработки результатов исследований.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 664.8.022.1:66.047.3.085.1

А.Н. Поперечный /д.т.н./, Н.А. Миронова
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского» (Донецк)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОДОВЫХ КОСТОЧЕК ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ВИБРОКИПЯЩЕМ СЛОЕ

На основе анализа данных экспериментальных исследований процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое установлена связь между скоростью сушки и влагосодержанием исследуемого продукта, в результате получены уравнения обобщенных кривых скорости сушки плодовых косточек. Получены графики изменения числа Ребиндера в зависимости от влагосодержания и теплового потока, поглощаемого косточками в процессе сушки. Знание кинетических закономерностей процесса сушки создает предпосылки для выявления рациональных режимов сушки и инженерного расчета промышленных сушильных установок.

Ключевые слова: *кинетика сушки, плодовые косточки, инфракрасное излучение, виброкипящий слой.*

Постановка проблемы

В условиях увеличения объема выпускаемой продукции в консервной промышленности остро стоит необходимость комплексного использования сельскохозяйственного сырья, более полного вовлечения вторичных материальных ресурсов в народное потребление.

Основными направлениями работы по обеспечению эффективного комплексного использования отходов консервной промышленности, в частности плодовых косточек, являются: организация малоотходных энергосберегающих технологий промышленной переработки продуктов питания с учетом их качества, разработки процессов и оборудования, обеспечивающих полное комплексное использование природных ресурсов и материалов.

Проблема сохранения и переработки плодовых косточек как ценного сырья для масложировой промышленности решается их сушкой на плодоовощных предприятиях.

Улучшение показателей процесса сушки плодовых косточек, в частности, сокращение расхода энергоресурсов, продолжительности протекания процесса с сохранением качества продукта возможно путем применения комбинированного способа с использованием инфракрасного (ИК) нагрева и виброкипящего слоя. При таком способе тепловой обработки достигается интенсивное перемешивание продукта, максимальная поверхность испарения, равномерное импульсное нагревание материала, что позволяет использовать высокие температуры, а также высушивать материал до низкой остаточной влажности (1,7-5 %).

Анализ известных научных исследований в области применения инфракрасного нагрева и вибрации показывает, что механизм их влияния на многослойные пищевые продукты все еще далеко не изучен. В частности, это касается нагрева сложных биоколлоидных многокомпонентных систем. К таким системам относятся также и плодовые косточки.

Кроме того, требует дополнительного изучения вопрос тепло-массообмена в плодовых косточках, а также их ядрах при воздействии на них инфракрасного излучения и вибрации, что позволит выявить рациональные параметры процесса сушки, разработать инженерную методику расчета сушилки, а также создать и внедрить способ и конструкцию промышленной сушильной установки с учетом вышеперечисленных потребностей.

Анализ последних исследований и публикаций

Теоретические основы тепло- и массообмена в процессах сушки пищевого растительного сырья и их аппаратурное оформление отражены в работах А.В. Лыкова, М.В. Лыкова, П.Д. Лебедева, П.Г. Романкова, А.С. Гинзбурга, А.М. Голдовского, В.В. Белобородова, В.В.Красникова, В.Е. Куцаковой, В.Ф. Фролова, Е.П. Кошевого, Г.К. Филоненко, И.А. Рогова, Б.А. Вороненко и др. ученых.

Специфические свойства плодовых косточек как объекта сушки – неоднородность состава (наличие ядра, косточковой оболочки, воздуш-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ного пространства между ядром и оболочкой), естественная неоднородность косточек по размерам, массе и влажности, высокая прочность косточковой оболочки, влагоинерционность, низкая теплопроводность, термолабильность белковой и липидной частей косточки – предъявляют особые требования к способу сушки и к конструкции сушильных устройств [1-3].

Непосредственным исследованиям процесса сушки плодовых косточек и их ядер посвящено всего несколько работ [4-6].

При сушке плодовых косточек с конвективным подводом теплоты в шахтных прямоточных барабанных сушилках явление термовлагопроводности препятствует перемещению влаги изнутри к поверхности ядер косточек, и интенсивность потока влаги равна разности между интенсивностью потока влаги в результате влагопроводности и интенсивностью потока влаги в результате термовлагопроводности. В барабанных сушилках процесс сушки происходит в перемешивающемся слое косточек, а сушильный агент выполняет дополнительную функцию по транспортированию их внутри сушилки [7]. Продолжительность пребывания в сушилке отдельных косточек может различаться на 30 %, что отрицательно влияет на равномерность их нагрева и сушку. Увеличивается количество обрушенных семян. Съем влаги составляет 2-4 % за один проход.

При сушке косточек в шахтных сушилках выявлен ряд существенных недостатков: неравномерность скорости движения внутри шахты и распределения сушильного агента в зонах сушки [8]. Следствием этого является неодинаковое и местами очень сильное нагревание косточек по всей ширине шахты, что приводит к ухудшению качества ядер и содержащегося в них масла.

Широкое применение для сушки вторичного сырья в пищевой промышленности имеет сушка ИК-излучением.

В работе [9] произведен системный анализ процесса тепловой обработки ядер плодовых косточек путем инфракрасного облучения, с целью изучения тепло-, массообменных биохимических явлений, протекающих в ядрах плодовых косточек.

В работе [10] авторы провели исследования процесса сушки лепестков ядер плодовых косточек абрикоса. Исследования проводились на экспериментальной установке, которая работает следующим образом. Лепестки ядер плодовых косточек через распределительный шнек загружаются на сетчатую ленту конвейера. Перед их поступлением в рабочую камеру регулируется толщина слоя продукта. При поступлении в первую зону установки продукт подвергается мощному импульсному воздействию инфракрасного облучения. При этом температура продукта достигает 50-55 °С в течение 50-60 с, далее начинается вторая зона, которую продукт проходит без тепловых воздействий в течение 50-60 с. В третьей зоне продукт подвергается тепловой обработке в течение 20-25 с, температура его достигает 80-85 °С, и так далее процесс продолжается 430-440 с, в течение которых продукт подвергается импульсному инфракрасному облучению. Несмотря на недостатки экспериментальной установки, проведенные исследования подтвердили хорошее качество высушенных ядер (по сравнению с ленточными и барабанными печами), высокую интенсивность процесса.

Среди преимуществ сушки инфракрасным излучением по сравнению с другими способами можно выделить следующие [11,12]:

– инфракрасные лучи преодолевают путь от источника излучения до объекта облучения в миллионные доли секунды, не встречая сопротивления приграничного слоя;

– инфракрасные лучи проникают на некоторую глубину в середину материала в зависимости от его оптической характеристики, что приводит к объемному поглощению энергии;

– применение инфракрасного излучения позволяет использовать плотность теплового потока возле поверхности обрабатываемого продукта больших величин, чем при очень интенсивных режимах конвективной теплоотдачи (в 30-70 раз);

– при правильной установке отражателей затраты излучаемой энергии сводятся к минимуму;

– обработка инфракрасным излучением повышает качество получаемого продукта в процессе правильно выбранных режимов сушки.

Значительное количество публикаций, которые посвящены экспериментальным исследованиям сушки вторичного растительного сырья, в частности плодовых косточек, подтверждают отсутствие одного или нескольких рациональных способов сушки и необходимость дальнейших поисков новых перспективных способов сушки и соответствующего оборудования.

Одним из таких способов является способ, в котором применяют перемещение продукта и комбинированный способ обработки инфракрасным излучением в виброкипящем слое.

Анализ движения продукта в виброкипящем слое при воздействии инфракрасных излучений показывает, что в хаотичном движении материала существует элемент периодичности. Продукт, который перемешивается в данном слое, кратковременно присутствует в зоне облучения, успе-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

вая нагреться. При этом происходит испарение влаги с его поверхности. Пребывая вне зоны излучения, продукт охлаждается. Температурный градиент изменяет свое направление, совпадая с направлением градиента содержания влаги. В этот период термодиффузия способствует перемещению влаги – интенсифицирует процесс [13,14].

Высокая плотность теплового потока при инфракрасном излучении в виброкипящем слое обеспечивает быстрый нагрев и сушку пищевого сырья.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является исследование кинетических закономерностей процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое.

Основной материал исследования

Установление взаимосвязи между теплообменом и массообменом процесса сушки плодовых косточек при помощи критерия Ребиндера возможно путем использования основного уравнения кинетики сушки, которое позволяет рассчитать тепловой поток, поглощаемый продуктом в процессе сушки [15]:

$$q = \rho_0 R_\upsilon r_в \frac{du}{d\tau}\left(1+\mathrm{Rb}\right), \qquad (1)$$

где ρ_0 – плотность сухого продукта, кг/м^3; R_υ – отношение объема частиц продукта к площади испарения; $r_в$ – удельная теплота испарения влаги продукта, кДж/кг; $du/d\tau$ – скорость сушки, %/с; Rb – число Ребиндера.

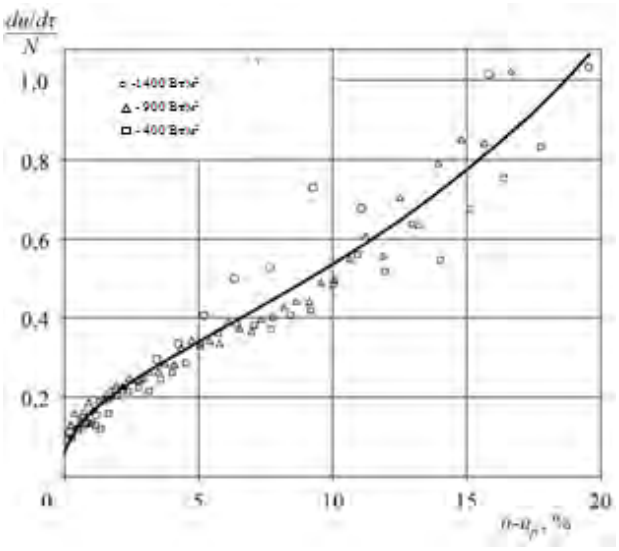
Первые две составляющие уравнения (1) являются практически постоянными величинами. Остальные три изменяются в процессе сушки и являются функциями влагосодержания продукта и его температуры. Поэтому расчет теплового потока проведем в три этапа.

Для построения кривых скорости сушки плодовых косточек [16] во втором периоде, исходя из их достаточно сложной формы, воспользуемся уравнением Г.К. Филоненко [17]:

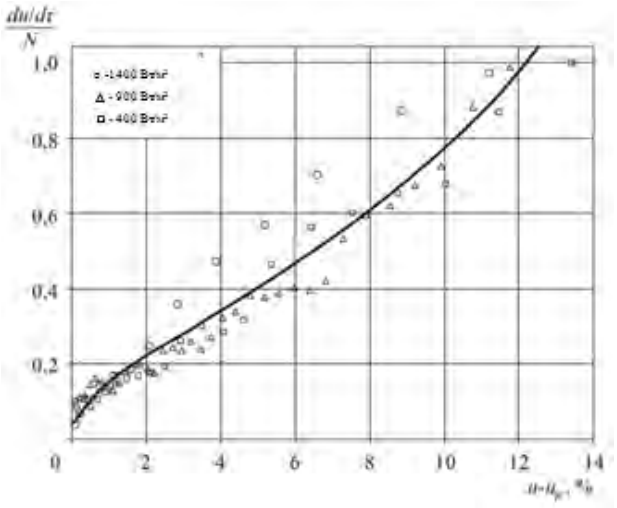
$$\frac{du/d\tau}{N} = \frac{\left(u-u_p\right)^n}{A+B\left(u-u_p\right)^n}, \qquad (2)$$

где N – скорость сушки в первом периоде; n – константа уравнения, которая определяется видом продукта; A и B – константы уравнения, которые зависят от размеров продукта, удельной нагрузки и потенциала сушки.

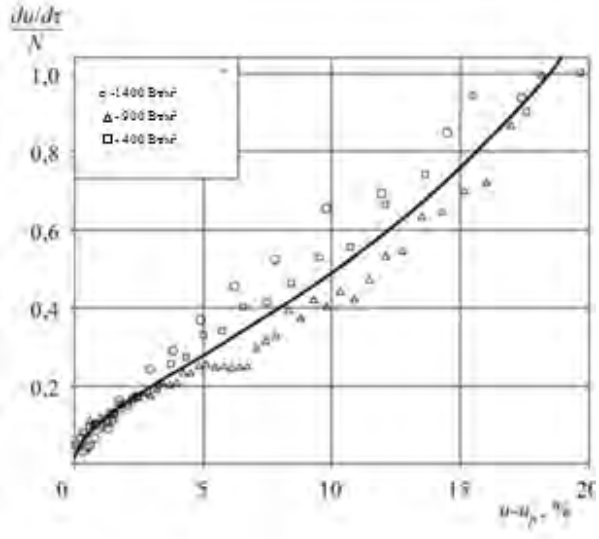
Для каждого исследуемого вида плодовых косточек нами рассчитаны уравнения обобщенных



а



б



в

Рис. 1. Обобщенная кривая скорости сушки плодовых косточек:
а – абрикоса; *б* – вишни; *в* – черешни

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

кривых скорости сушки в координатах (u-u_p)-($du/d\tau$)/N по данным, приведенным в [16]. Эти кривые изображены на рис. 1.

Соответствующие вычисления проведены нами в математическом пакете Mathcad с помощью метода наименьших квадратов. Значения коэффициентов регрессии и показатели статистической оценки соответствующих уравнений приведены в табл. 1.

Таким образом, для второго периода сушки получены следующие уравнения обобщенных кривых скорости сушки:

– для косточек абрикоса

$$\frac{du/d\tau}{N}=\frac{\left(u-u_p\right)^{0,198}}{11{,}77-5{,}6\left(u-u_p\right)^{0,198}};$$

– для косточек вишни

$$\frac{du/d\tau}{N}=\frac{\left(u-u_p\right)^{0,365}}{9{,}59-2{,}85\left(u-u_p\right)^{0,365}};$$

– для косточек черешни

$$\frac{du/d\tau}{N}=\frac{\left(u-u_p\right)^{0,403}}{12{,}22-2{,}78\left(u-u_p\right)^{0,403}}.$$

Сравнение рассчитанного значения критерия Фишера с критическим для соответствующих степеней свободы свидетельствует об адекватности полученных уравнений.

Для вычисления продолжительности сушки до заданного конечного влагосодержания $u_к$ воспользуемся выражением, которое Г.К. Филоненко получил в результате интегрирования уравнения (2):

$$\tau=\frac{1}{N}\left[\begin{array}{l}\left(u_0-u'_{кр}\right)+\\ +\dfrac{A}{1-n}\left[\dfrac{\left(u'_{кр}-u_p\right)^{1-n}-}{\left(u_к-u_p\right)^{1-n}}\right]+B\left(u'_{кр}-u_к\right)\end{array}\right],\quad(2)$$

где u_0 – начальное влагосодержание, $u'_{кр}$ – приведенное первое критическое влагосодержание, %; u – равновесное влагосодержание, %.

Для определения приведенного первого критического влагосодержания левая часть уравнения (2) была приравнена 1 и полученное уравнение с помощью логарифмирования преобразовано к следующему виду:

$$u'_{кр}=e^{\frac{\ln\frac{A}{1-B}}{n}}+u_p \qquad (4)$$

В табл. 2 представлены полученные по (4) значения приведенного первого критического влагосодержания.

Плодовые косточки содержат достаточно большую долю связанной влаги, для удаления которой, кроме теплоты парообразования, необходимо подвести теплоту, которая пойдет на разрушение связи влаги с продуктом (она численно равна энергии этой связи).

Для определения энергии связи влаги с продуктом воспользуемся методикой, приведенной в [18]. По этой методике энергия L, которую необходимо потратить для отрыва от продукта 1 моль воды, определяется уравнением, полученным П.А. Ребиндером из основных термодинамических отношений:

$$L=RT\ln\varphi_n, \qquad (5)$$

где R=8,31 Дж/(моль·К) – газовая постоянная; T – абсолютная температура сушильного агента (воздуха); φ_n – относительная влажность воздуха, которая соответствует влажности продукта в состоянии равновесия.

Зависимость относительной влажности воздуха от влажности продукта W_p определяется из изотермы десорбции. Для косточек абрикоса при температуре воздуха T=293° К (при этой температуре проводились наши экспериментальные исследования по сушке косточек абрикоса) изотерма десорбции определяется следующим уравнением [18]:

$$W_p=\begin{cases}\dfrac{30+\varphi_n}{7{,}21}\ \text{при}\ \varphi_n<45\%,\\ \dfrac{6\left(\varphi_n-45\right)}{48-\left(\varphi_n-45\right)}+10{,}4\ \text{при}\ \varphi_n>45\%.\end{cases} \qquad (6)$$

С учетом (6) уравнение (5) в пересчете на 1 кг воды принимает вид:

$$L=\begin{cases}RT\ln\left(\dfrac{100}{7{,}21W_p-30}\right)\cdot\dfrac{1000}{18}\ \text{при}\ W_p<10{,}4\%,\\ RT\ln\left[\dfrac{100}{45+\dfrac{48\left(W_p-10{,}4\right)}{\left(W_p-10{,}4\right)+6}}\right]\cdot\dfrac{1000}{18}\ \text{при}\ W_p>10{,}4\%.\end{cases} \qquad (7)$$

Изменение удельной теплоты испарения влаги, которая равна сумме теплоты парообразования свободной влаги (2240 кДж/кг) и энергии связи влаги с продуктом, представлено на рис. 2 как функция влагосодержания продукта.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 1. Результаты вычислений коэффициентов регрессии уравнений обобщенных кривых скорости сушки плодовых косточек

Вид косточек	Показатели						
	n	*A*	*B*	Стандартное отклонение оценки	Коэффициент корреляции	Критерий Фишера	Критическое значение критерия Фишера
Косточки абрикоса	0,198	11,77	-5,6	0,068	0,959	500,9	3,1
Косточки вишни	0,365	9,59	-2,85	0,065	0,958	364,7	3,14
Косточки черешни	0,403	12,22	-2,78	0,057	0,966	376,9	3,11

Табл. 2. Приведенное критическое влагосодержание

Вид косточек	Плотность теплового потока, Вт/м^2		
	1400	900	400
Косточки абрикоса	23	23,9	27,9
Косточки вишни	14,3	15,2	18,2
Косточки черешни	20,4	20,8	25

Число Ребиндера определяли по формуле [1]:

$$Rb = \frac{c_n}{r_в} b, \qquad (8)$$

где c_n – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); b=100dt/du – температурный коэффициент сушки.

Для определения температурного коэффициента сушки в координатах $t_{ср}$-u были построены температурные кривые, приведенные на рис. 3.

Среднеобъемная температура продукта $t_{ср}$ определялась при этом по термограммам [19] в предположении параболического распределения температуры по сечению косточки и ее сферической формы [20,21].

С помощью графического дифференцирования построенных температурных кривых вычислялись значения температурного коэффициента для различных значений влагосодержания продукта.

Для определения удельной теплоемкости плодовые косточки рассматривались как продукт, состоящий из следующих составляющих: воды, масла, белков, углеводов и целлюлозы. Каждая *i*-тая составляющая имеет свое влияние на общую удельную теплоемкость пропорционально массовой доле ω_i в продукте:

$$c_n = \omega_в c_в + \omega_м c_м + \omega_б c_б + \omega_{угл} c_{угл} + \omega_ц c_ц, \qquad (9)$$

где $c_в$ – удельная теплоемкость воды; $c_м$ – удельная теплоемкость масла; $c_б$=$c_{угл}$=1,41 кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость белков и углеводов [22]; $c_ц$=1,33 кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость целлюлозы [22].

Удельные теплоемкости воды и масла задавались как функции среднеобъемной температуры продукта. В первом случае использовались табличные данные (для промежуточных значений температуры удельная теплоемкость воды определялась с помощью интерполяции). Во втором случае использовалось следующее уравнение:

$$c_м = \begin{cases} 1{,}66\left(0{,}439 + 0{,}00185T_{ср}\right) \text{ при } 273 < T_{ср} < 363, \\ 1{,}66\left(0{,}275 + 0{,}0023T_{ср}\right) \text{ при } 363 < T_{ср} < 423, \end{cases} \qquad (10)$$

где $T_{ср}$ – абсолютная среднеобъемная температура продукта.

Графики изменения удельной теплоемкости косточек абрикоса в зависимости от текущего влагосодержания, которые построены по уравнению (9) с учетом массовых долей составляющих продукта (их значения приняты из [22]), приведены на рис. 4.

На основании графиков, приведенных на рис. 3 и 4, а также с помощью графического дифференцирования температурных кривых на рис. 5 представлены кривые изменения числа Ребиндера косточек абрикоса в процессе сушки.

Характер кривых для всех опытов одинаков – в начале процесса сушки число Ребиндера резко уменьшается от начального влагосодержания до влагосодержания 20-25 %. Этот участок отража-

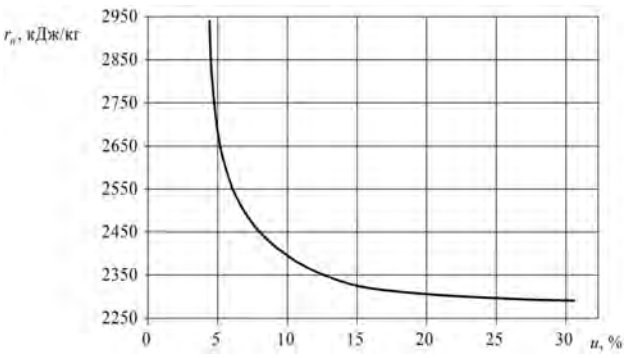
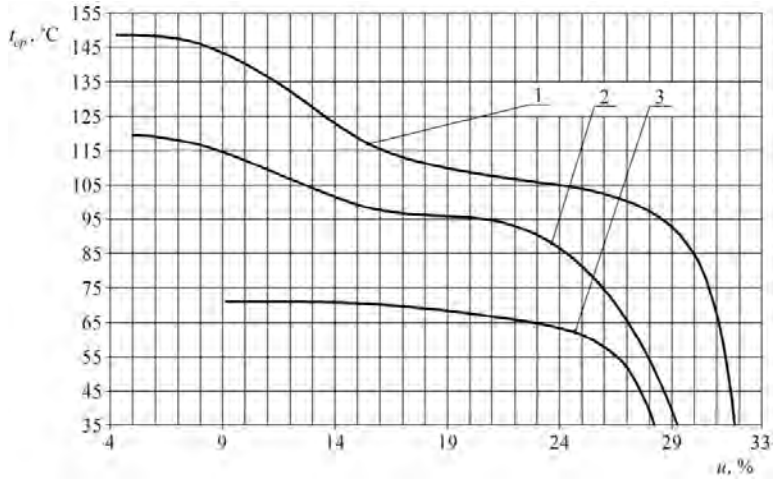
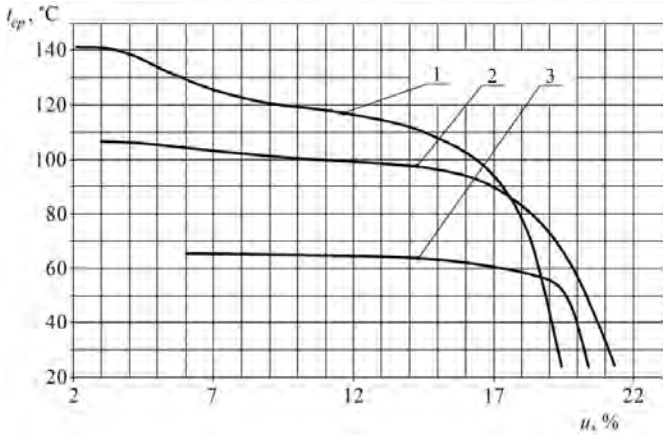


Рис. 2. График зависимости удельной теплоты испарения влаги из косточек абрикоса от влагосодержания

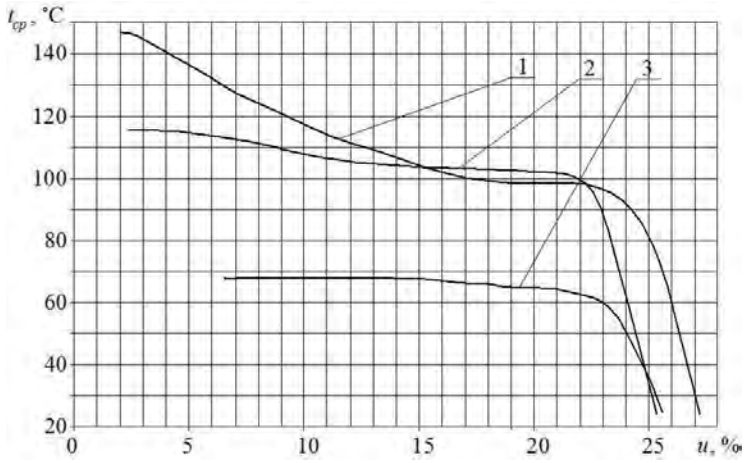
ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



а



б



в

Рис. 3. Температурные кривые косточек абрикоса (*а*), вишни (*б*), черешни (*в*) при разных значениях плотности теплового потока инфракрасного облучения, Вт/м^2: *1* – 1400; *2* – 900; *3* – 400

ет период максимального расхода теплоты на нагрев продукта. Далее число Ребиндера медленно уменьшается к концу процесса. Для кривых 1 и 2 при влагосодержании около 15% имеет место локальный максимум, который соответствует началу второго участка интенсивного повышения температуры продукта на соответствующих температурных кривых [20,21]. Крутизна этого экстремума увеличивается с повышением плотности теплового потока инфракрасного облучения.

По определению, чем меньше значение числа Ребиндера, тем эффективнее осуществляется процесс сушки. Число Ребиндера при сушке в процессе прогрева продукта уменьшается, т.к. возрастает доля теплоты, подошедшая на испарение влаги.

Результаты, полученные ранее, позволили,

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

используя уравнение (1), рассчитать тепловой поток, поглощаемый косточками абрикоса в процессе сушки.

На рис. 6 приведены графики изменения этой величины в зависимости от влагосодержания продукта при различных значениях плотности теплового потока инфракрасного облучения. Все кривые имеют похожую форму – участок резкого уменьшения теплового потока в начале процесса соответствует интенсивному прогреву продукта, который сменяется участком плавного уменьшения теплового потока до равновесного влагосодержания. Для плотности теплового потока 1400 Вт/м^2 имеет место промежуточный горизонтальный участок, который отвечает периоду постоянной скорости сушки.

Снижение величины теплового потока, поглощаемого продуктом в процессе сушки, можно объяснить повышением температуры продукта и, как следствие, уменьшением температурного напора между ним и излучателями, а также снижением влагосодержания продукта, который уменьшает коэффициент поглощения теплоты.

Выводы

Кинетические закономерности процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое позволяют установить взаимосвязь между скоростью сушки и влагосодержанием продукта, изменение характера перемещения влаги внутри продукта в зависимости от влагосодержания, а также затраты теплового потока, поглощаемого косточками в процессе сушки. Полученные результаты могут быть использованы в инженерных расчетах промышленных сушильных аппаратов.

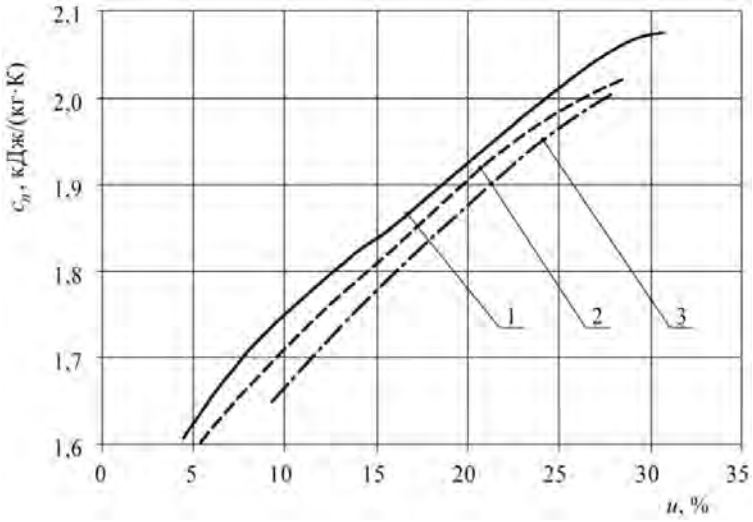


Рис. 4. Изменение удельной теплоемкости косточек абрикоса в процессе сушки при различных значениях плотности теплового потока инфракрасного облучения, Вт/м^2: *1* –1400; *2* – 900; *3* – 400

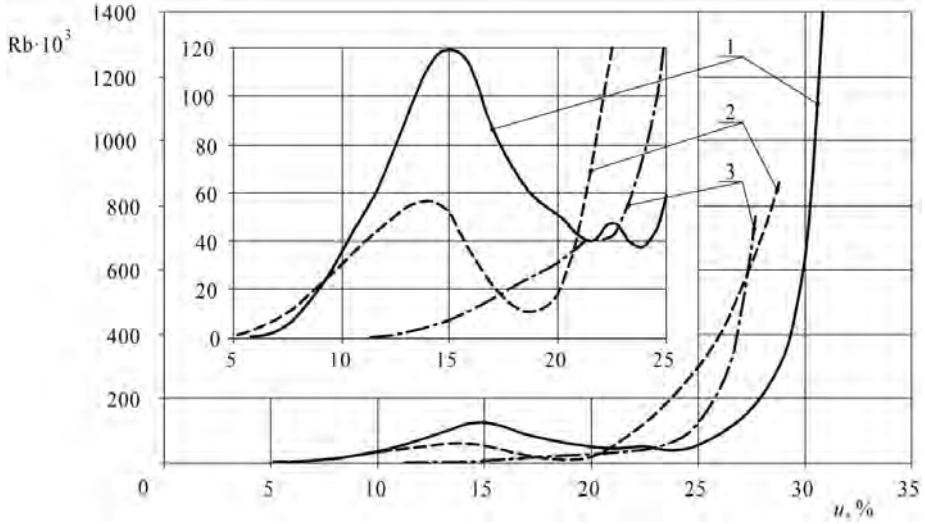


Рис. 5. Изменение числа Ребиндера косточек абрикоса в процессе сушки при различных значениях плотности теплового потока инфракрасного облучения, Вт/м^2: *1* – 1400; *2* – 900; *3* – 400

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

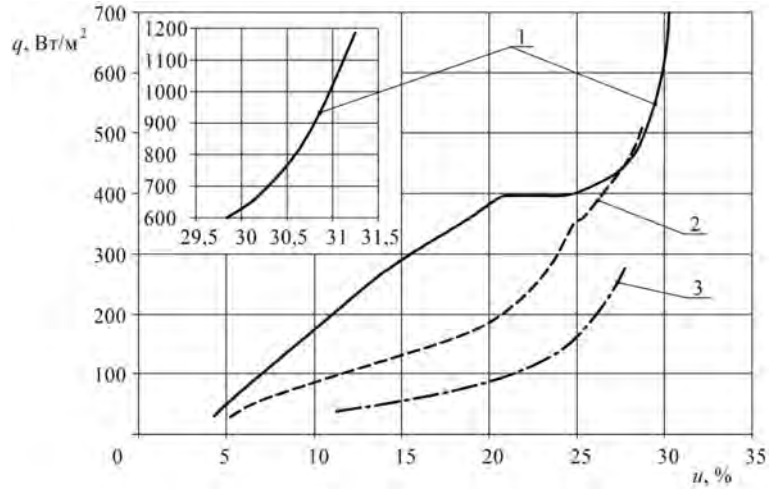


Рис. 6. Изменение теплового потока, поглощаемого косточками абрикоса в процессе сушки, в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения, Вт/м^2:
1 – 1400; *2* – 900; *3* – 400

Список литературы

1. Филатов В.В. Исследования термической обработки капиллярно-пористых коллоидных материалов инфракрасным излучением // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – №5. – С. 16-23.
2. Завалий А.А. Устройства инфракрасной сушки термолабильных материалов // Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК (ПРЭТ-2014): сб. тр. V Межд. науч.-техн. конф. – Иваново: Ивановский гос. хим. технолог. ун-т, 2014. – Т.1. – С. 91-96.
3. Modern Drying Technology. Volume 5: Process Intensification / Edited by Evangelos Tsotsas and Arun S. Mujumdar. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2014. – 372 p.
4. Шодиев С.С. Интенсификация процесса тепловой обработки косточковых маслосодержащих материалов с использованием нетрадиционных методов подвода энергии: дис. … маг. техн. наук. – Бухара, 2010. – 81 с.
5. Алейникова А.В. Разработка метода и сушилки для сушки плодовых косточек: дис. … канд. техн. наук / А.В. Алейникова. – Киев, 1988. – 134 с.
6. Гафуров К.Х. Изменение биохимических свойств ядер плодовых косточек и качества масла при тепловой обработке // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов IX Межд. науч.-техн. конф., 25-26 апреля 2013 г. – Могилев: Могилевский гос. ун-т продовольствия, 2013. – С. 84.
7. Куцакова В.Е. Некоторые кинетические закономерности процесса сушки в барабанных агрегатах при кондуктивно-конвективном теплоподводе // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т.3, Вып.1. – С. 146-150.
8. Атаназевич В.И. Сушка пищевых продуктов. – М.: ДеЛи, 2000. – 295 с.
9. Гафуров К.Х. Системный анализ процесса термообработки ядер плодовых косточек // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – С. 62-63.
10. Гаджиев А.К. Исследование технологии комплексной переработки плодовых косточек: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.К. Гаджиев. – Ташкент, 1974. – 24 с.
11. Плаксин Ю.М. Аналитическое исследование полей энергетического облучения на поверхности изделий в инфракрасных установках: тез. докл. межд. конф. СЭТТ 2008. – М.: МГУПБ, 2008. – Т.1. – С. 66-68.
12. Безбах И.В. Повышение энергоэффективности технологической линии с применением комбинированного способа сушки / И.В. Безбах, Е.В. Воскресенская // Наук. пр. ОНАХТ. – 2008. – Вип.32. – С. 86-92.
13. Drying in the Process Industry / C.M. van't Land. – John Wiley & Sons, 2012. – 381 p.
14. Современные подходы к исследованию и описанию процессов сушки пористых тел / под ред. В.Н. Пармона. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 300 с.
15. Лыков А.В. Теория сушки: учеб. пособие для высших технических учебных заведений. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
16. Поперечный А.Н. Кинетика сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое / А.Н. Поперечный, Н.А. Миронова // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2015. – №1.– С. 142-149. (сер.: процессы и аппараты пищевых производств).
17. Филоненко Г.К. Сушка пищевых растительных материалов. – М: Пищевая пром-ть, 1971. – 440 с.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

18. Гинзбург А.С. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов: справочник / А.С. Гинзбург, И.М. Савина. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 280 с.
19. Влияние параметров сушки плодовых косточек на качество получаемого масла / А.Н. Поперечный [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2016. – №2. – С. 3-12. (сер.: процессы и аппараты пищевых производств).
20. Сушка нетрадиционного пищевого и лекарственного сырья / А.Н. Поперечный [и др.]. – Краматорск: Каштан, 2016. – 250 с.
21. Drying of Plant Materials in a Vibro-Fluidized Bed with Infrared Heating / A.N. Poperechnyi, [et al.] // Academic message at the 4th edition of BIOATLAS Int. Conf., Transilvania University of Brasov, May, 15-17, 2014. – P. 66-70.
22. Щербаков В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья: учебник. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.

A.N. Poperechnyi /Dr.Sci. (Eng.)/, N.A. Myronova
Donetsk National University of Economics and Trade Named after M. Tugan-Baranovsky (Donetsk)

KINETIC REGULARITIES OF THE PROCESS OF FRUIT PITS DRYING BY INFRARED RADIATION IN A VIBRO BOILING LAYER

Background. *A mandatory step in the design of industrial installations for fruit pits drying by infrared radiation in a vibro boiling layer is the investigation of kinetic and quantitative regularities of the process that would allow accounting the initial characteristics of the product, the physical and chemical properties, type of connection of moisture with the material, and carry out the drying under conditions which provide a dried product with minimal residual moisture and conservation of valuable properties, in particular the quality of the oil contained in the kernels of fruit pits.*
Materials and/or methods*. Using the method of the reduced drying rate, on the basis of analysis of experimental investigations of the process of fruit pits drying by infrared radiation in a vibro boiling layer, established the relation between the speed of drying and the moisture content of the product, demonstrated how to determine the main indicators affecting the change of the drying process (the latent heat of vaporization, specific heat capacity, temperature coefficient, the number Rehbinder, heat flux) depending on the heat flux density of the infrared radiation. The method of the reduced drying rate eliminates the influence of parameters of the agent on the drying process intensity. The dependence of the method of the reduced drying rate only on physical and chemical properties of the material and a type of connection with the material allows using the equation of the drying duration calculations for drying installations of any capacity. By integrating the formula of the reduced drying rate from the initial to critical moisture content the duration of the drying process is determined.*
Results. *The resulting equations of generalized curves of the drying rate of fruit pits allow calculating the change in drying rate depending on the moisture content of the product, as well as the duration of the process, studying the nature of the moisture transfer within the material depending on the temperature changes in the drying process.*
Conclusion. *The obtained results can be used in engineering calculations of industrial drying machines, as they allow establishing the relationship between the drying rate and the moisture content of the product, identifying the changing nature of moisture transfer within the product depending on the moisture content, the process duration and the heat flux absorbed by the pits in the course of drying.*

Keywords: *drying kinetics, fruit pits, infrared radiation, vibration.*

Сведения об авторах

А.Н. Поперечный
Эл. почта: obladn@kaf.donduet.edu.ua

Н.А. Миронова
SPIN-код: 5375-8228
Телефон: +380 (50) 876-38-08
Эл. почта: mironova_nad@mail.ru

Статья поступила 10.12.2016 г.
© А.Н. Поперечный, Н.А. Миронова, 2016
Рецензент д.т.н., проф. А.Б. Бирюков

УДК 338.432 (422.61/62)

М. А. Компаниец
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ПОНЯТИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

В статье систематизированы разные взгляды на концепцию устойчивого развития, представлена эволюция идеи устойчивого сельского хозяйства, возникшего в противовес традиционному методу ведения сельского хозяйства. Раскрыта сущность устойчивого развития аграрного сектора как трехкомпонентной системы.

Ключевые слова: *устойчивое развитие, аграрный сектор, устойчивое сельское хозяйство.*

Постановка проблемы

Интерес к вопросам устойчивого развития (УР) возрос после того, как термин sustainable development был сформулирован в 1987 г. в докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее». Здесь устойчивое развитие понимается как «такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» [1].

Отныне тема устойчивого развития стала одной из главных в дискуссиях правительств, организаций, политиков и практиков. Обсуждаются механизмы, принципы, инструменты и индикаторы на различных уровнях.

Анализ последних исследований и публикаций

Деятельность в области сельского хозяйства непосредственно влияет на устойчивое развитие. Использование химических удобрений, ориентация на доходность бизнеса при негативном влиянии на природные ресурсы, бедность сельского населения – все это привело к тому, что ученые начали разрабатывать программы устойчивого развития сельского хозяйства с тем, чтобы оно стало более безопасным для окружающей среды и человека. Вопросами в области устойчивого развития аграрного сектора занимаются такие ученые как Курцев И.В., Костенко Ю.И., Ушачев И.Г., Захм Ф., Харвуд Р.Р. и др.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является систематизация существующих подходов к пониманию устойчивого развития в аграрном секторе.

Основной материал исследования

Если вернуться к истории происхождения термина, то можно отметить, что одно из первых определений УР было дано в 1915 г. Канадской комиссией по охране окружающей среды: «Каждое поколение имеет право на определенный процент естественного капитала, но основная часть этого капитала должна быть передана следующему поколению нетронутым» [2].

В 1972 г. труд Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В. «Пределы роста. Доклад Римскому клубу» стал обоснованием перехода к УР. В «Пределах роста» авторы пришли к выводу о том, что воздействие на окружающую среду в масштабах земного шара (выбросы загрязнений и расходование природных ресурсов) сильно повлияет на развитие мира в XXI в. Выражалась также надежда на то, что будут приняты предупреждающие меры, которые позволили бы избежать роста нагрузки на окружающую среду и выхода за пределы самоподдержания Земли [3].

Спустя 20 лет концепция УР была официально признана в качестве новой модели развития общества на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. (ЮНСЕД). Стратегия и концепция УР развивались на Всемирном саммите ООН по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в 2002 г. (ВСУР), на Конференции ООН по устойчивому развитию (Саммит «РИО+20», 2012 г., Рио-де-Жанейро). Приоритетными становятся не только экологические проблемы, но также экономические и социальные. Экологическая сторона рассматривается с точки зрения поддержания окружающей среды и управления природными ресурсами. Экономические вопросы относятся к эффективности производства, его динамике и экономическим связям. Социальные проблемы связаны с социальной справедливостью, солидарностью и взаимоотношениями внутри общества. Таким образом, концепция УР дает возможность связать экономический рост и экономическую эффективность с социальным прогрессом и справедливостью, не забывая при этом об окружающей среде [4].

Несмотря на то, что концепция УР сегодня

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

широко обсуждается, нет единого подхода к данному понятию. Это связано с тем фактом, что в разных языках по-разному трактуется этот термин: во французском – долговременное развитие, в итальянском – заслуживающее поддержки развитие, в немецком – продолжительное развитие, в шведском – устойчивое развитие, в японском – продолжительное развитие [5]. Многие русскоговорящие ученые и деятели переводят это понятие как стабильное, непрерывное, регулируемое, самоподдерживаемое, равновесное, сбалансированное развитие. Другая причина отсутствия четкого понимания сущности УР заключается в том, что эта категория применяется на разных уровнях хозяйственной деятельности (международный, национальный, региональный, отраслевой и микроуровень) [6].

Если рассматривать отрасль сельского хозяйства, то проблема устойчивости здесь более сложная, многогранная, чем в других отраслях, из-за характерных особенностей самого сельского хозяйства. Сельское хозяйство призвано обеспечить растущее население мира пищей и другими ресурсами, которые играют важную роль в человеческой деятельности. Тем не менее, существует большое количество проблем, которые угрожают этой способности сельского хозяйства: изменение климата; высокий уровень утраты биоразнообразия; деградация земель в результате эрозии почвы, засоление и загрязнение окружающей среды; истощение и загрязнение водных ресурсов; рост издержек производства; постоянно уменьшающееся число ферм и связанные с этим бедность и сокращение сельского населения. Для решения данных проблем внедряется идея об устойчивом сельском хозяйстве (sustainable agriculture).

Также как и понятие «устойчивое развитие» в целом, понятие «устойчивое сельское хозяйство» находится в процессе становления и уточнения. Часто встречаются такие трактовки, как экологическое сельское хозяйство, органическое сельское хозяйство, биологическое земледелие, динамически адаптивное земледелие и др. Еще один вариант – устойчивое сельское хозяйство как модель альтернативного ведения сельского хозяйства. Она противостоит традиционной (интенсивной) модели, которая поощряет применение химических удобрений (пестицидов, минеральных удобрений), использует высокомеханизированные производственные мощности и ориентирована на увеличение доходности, что является причиной многих негативных воздействий на природные ресурсы [7]. В 80-х гг. возникла необходимость разработки программ исследований и образования в области устойчивого сельского хозяйства, которые сделали бы сельское хозяйство более безопасным для человека и окружающей среды и более продуктивным для будущих поколений [8]. Как отмечает Иванов В.А. [9], определение УР в аграрном секторе было сформулировано на сессии ФАО в 1996 г. в Риме: «Главной задачей Программы устойчивого сельского хозяйства и сельского развития является повышение уровня производства продуктов питания и обеспечение продовольственной безопасности. Для решения этой задачи необходимо поддерживать образовательные инициативы, использование экономических инноваций и развитие приемлемых новых технологий, обеспечивая таким образом стабильный доступ к продуктам питания, соответствующим потребности человека в питательных элементах; доступ к ним для бедных групп; развитие товарного производства; сокращение безработицы и повышение уровня доходов в целях борьбы с бедностью; управление природными ресурсами и защиту окружающей среды».

В 2015 г. на Саммите по устойчивому развитию в Нью-Йорке были утверждены новые глобальные цели на предстоящие 15 лет (2016-2030 гг.) [10]. Искоренение голода и нищеты, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания; ответственное потребление и производство; сохранение и рациональное использование природных ресурсов и энергии, а также борьба с изменением климата и др. – все эти цели прямо или косвенно затрагивают вопросы сельского хозяйства.

Устойчивое сельское хозяйство направлено на использование сельскохозяйственных инноваций, применение экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий, не нанося при этом существенного урона окружающей среде и сохраняя агроландшафт для будущих поколений.

Харвуд Р.Р. [11] в своей работе показывает несколько направлений, которые отражают концепцию устойчивого сельского хозяйства:

1) биодинамическое сельское хозяйство в работах Штайнера Р. (1924) и Пфайфера Э. (1934);

2) концепция Humus Farming в работе Говарда А. и Вада Й.Д. (1931) и биологическое сельское хозяйство в работе Норзбурна Л. (1940);

3) альтернативное сельское хозяйство, построенное вокруг возобновления агроэкологии, в частности, в работах по экологии применительно к сельскому хозяйству (Альтьери М.А., 1987; Довер М. и Талбот Л.М., 1987)) и работах междисциплинарной исследовательской группы по агроэкологии (Стассарт и др., 2012);

4) с середины 1990-х годов многофункциональность, которая расширяет споры по вопро-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 1. Хронология развития определений устойчивого сельского хозяйства

Автор	Дата	Устойчивое сельское хозяйство определено как
1	2	3
Гипс Т.	1984	Сельское хозяйство экологически безопасное, экономически выгодное, социально справедливое и гуманное.
Конвей Г.Р.	1985	Устойчивость – это способность системы поддерживать свою производительность в условиях значительного стресса или серьезного нарушения.
Довер М., Талбот Л.М.	1987	Это системы, производство которых может продолжаться до бесконечности, не способствуя чрезмерной деградации других экосистем.
Эдвардс К.А.		Устойчивое сельское хозяйство относится к интегрированным системам сельскохозяйственного производства на основе минимальной зависимости от вложений (энергии, синтетических химических веществ) и от их замещения культурными и биологическими технологиями. Эти системы должны поддерживать или незначительно снижать общую производительность и сохранять или увеличить чистую прибыль для фермера. Они должны защищать окружающую среду с точки зрения загрязнения почв и продуктов питания, поддерживать экологическое разнообразие и его структуру в долгосрочной перспективе, плодородие и продуктивность почвы. Эти системы должны отвечать социальным потребностям фермеров и их семей и укреплять сельские общины на устойчивой основе.
Совет по международному развитию продовольствия и сельского хозяйства (BIFAD Task force)	1988	Успешное управление ресурсами для сельского хозяйства, чтобы удовлетворять меняющиеся потребности человека при поддержании или улучшении основных природных ресурсов и при предотвращении деградации окружающей среды. Необходимо сохранять и защищать природные ресурсы и обеспечить экономический рост в долгосрочной перспективе за счет управления всеми эксплуатируемыми ресурсами устойчивого возвращения.
Консультативная группа по международным сельскохозяйственным исследованиям / Технический консультативный комитет		Устойчивость относится к рациональному управлению ресурсами для сельского хозяйства для удовлетворения человеческих потребностей при сохранении или улучшении качества окружающей среды и сохранения природных ресурсов.
Родаль Р.		Система, где ресурсы, используемые для производства, сохраняются таким образом, чтобы быть более или менее самоподдерживаемыми и быть частью непрерывного процесса улучшения за рамками традиционных подходов.
Руттан В.В.	1989	Устойчивым сельским хозяйством является сельское хозяйство, которое (1) разрабатывает технологии и практики, которые поддерживают и / или улучшают качество земель и водных ресурсов и (2) улучшает культурные растения и породы животных и способствует развитию сельскохозяйственных практик, чтобы в конечной цели уменьшить зависимость от химических удобрений.
Американское общество агрономии		Устойчивое сельское хозяйство – это такое сельское хозяйство, которое в долгосрочной перспективе (1) улучшает качество окружающей среды и ресурсов, от которых оно зависит, (2) обеспечивает базовым продовольствием людей, а также их потребности в волокнах, (3) является экономически целесообразным и улучшает качество жизни фермеров и общества в целом.
Фрэнсис Ч., Янгберг Г.	1990	Философия на основе человеческих целей и понимания влияния в долгосрочном периоде деятельности на окружающую среду и на другие виды. Применяется эта философия для создания ресурсосберегающего сельского хозяйства и справедливых сельскохозяйственных систем.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Продолжение табл. 1

1	2	3
Макрей Р.Дж. и др.	1990	Устойчивое сельское хозяйство представляет собой философию и систему сельского хозяйства. Она имеет свои корни в наборе значений, отражающих состояние прав и возможностей, ответственность, осознание экологических и социальных проблем и способность принимать эффективные меры.
Харвуд Р.Р.		Устойчивое сельское хозяйство – это сельское хозяйство, которое бесконечно развивается в сторону большей полезности человека, более эффективного использования ресурсов, в то же время, соблюдая баланс с окружающей средой, что должно быть благоприятным как для людей, так и других видов.
Бонни С.	1994	Сельское хозяйство (1) экологически чистое, ресурсосберегающее, сохраняющее производственный потенциал для будущих поколений и не разрушающее другие виды; (2) выгодно для фермеров и доступно в долгосрочной перспективе; (3) обеспечивает достаточное количество и качество продуктов питания для всего населения; (4) справедливое на социальном и человеческом уровне, между странами и внутри каждой страны и (5) социально приемлемо.
Хансен Дж.В., Джонс Д.В.	1996	Устойчивое сельское хозяйство представляет собой способ производства, который характеризуется способностью системы фермерского хозяйства продолжаться в будущем.
Парк Дж., Ситон Р.А.Ф.	1996	Один из способов поддержания способности адаптации фермерского хозяйства.
Ландайс Е.	1998	Сельское хозяйство на основе жизнеспособных ферм, пригодных для жизни, передаваемых и воспроизводимых.
Вилен Л. и др.	2000	Сельское хозяйство экономически жизнеспособное, экологически безопасное и социально справедливое.
ОЭСР		Устойчивость в сельском хозяйстве означает процесс, с помощью которого методы ведения сельского хозяйства экономически эффективные, экологически безопасные и социально приемлемые помогают удовлетворить спрос на продукцию (продукты питания, волокна и других производств).
Бродхэг К.		Устойчивое сельское хозяйство должно отвечать трем условиям: а) сохранение условий возобновляемости ресурсов наследия, то есть свести к минимуму последствия их деятельности и повышать достаточный уровень производства, б) справедливое распределение доходов между игроками территории, которые являются производителями культурных и природных объектов (положительных внешних факторов или общественных благ), в) создание механизмов хорошего местного управления для поддержки конкретных производств в рамках стратегий устойчивого развития территорий, разделяемых всеми игроками, во избежание грабительских последствий разработки монокультуры.
Годар О., Хуберт Б.	2002	Устойчивое сельское хозяйство характеризуется двумя измерениями. Первое направлено на поддержание способности производить, сохраняя природные ресурсы и мощности, от которых оно зависит (профессиональное образование, непрерывное внедрение технологических достижений, проверенных на устойчивость, обеспечение социальной легитимности деятельности и технологий, складирование и страхование, чтобы противостоять неожиданностям). Второе измерение, в центре которого многофункциональность сельского хозяйства, связано с вкладом системы фермерского хозяйства в устойчивость территории, к которой она принадлежит: включение в местную экономику; предложение местных услуг; сохранение и создание рабочих мест в сельской местности; производство экологических услуг и т.д.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Продолжение табл. 1

1	2	3
Ушачев И.Г.	2006	Устойчивое развитие аграрного сектора характеризуется единством трех составляющих: экономической, социальной и экологической, позволяющих соединить рост экономики и повышение степени удовлетворения потребностей населения с экологическими требованиями в единую социоприродную систему [13].
Федеральный закон РФ «О развитии сельского хозяйства»	2006	Под устойчивым развитием сельских территорий понимается их стабильное социально-экономическое развитие, увеличение объема производства сельскохозяйственной продукции, повышение эффективности сельского хозяйства, достижение полной занятости сельского населения и повышение уровня его жизни, рациональное использование земель [14].
Курцев И.В.	2008	Устойчивое развитие сельского хозяйства означает воспроизводство в каждом производственном цикле на более высоком уровне положительных результатов, последовательное наращивание возможностей их улучшения, обеспечивающее в каждом отрезке времени более высокие количественные и качественные показатели в сравнении с предшествующим периодом [15].
Конференция ООН по устойчивому развитию «Рио+20»	2012	Устойчивое сельское хозяйство способствует продовольственной безопасности и искоренению голода, является экономически жизнеспособным, обеспечивая сохранение биоресурсов, биологического разнообразия и экосистем, а также повышает степень устойчивости к изменению климата и стихийным бедствиям [16].
Хвесик М.А.		Устойчивое сельское хозяйство рассматривается как система, которая создает и контролирует природные биологические циклы; защищает и воспроизводит плодородие грунта и природные ресурсы; оптимизирует использование ресурсов на предприятии; сокращает использование невозобновляемых ресурсов; минимизирует вредное влияние на здоровье, природу, качество воды и окружающей среды [17].
Захм Ф. и др.	2015	Устойчивое сельское хозяйство – это сельское хозяйство экологически и экономически жизнеспособное, социально справедливое и гуманное. Оно способствует, с одной стороны, устойчивости территорий, на которых происходит многофункциональная его деятельность, с другой – оказанию глобальных экологических услуг, которые отвечают целям, не относящимся к устойчивому развитию территорий.

Примечание: Таблица составлена на основе исследований [12], переведена и дополнена автором.

сам сельского хозяйства и других заинтересованных сторон и признает другие нерыночные услуги и функции сельского хозяйства

В работе Ф. Захма и др. [12] составлена хронологическая последовательность развития идеи устойчивого сельского хозяйства начиная с 1984 г. Данная систематизация не охватывает научные труды ученых постсоветского пространства, поэтому ниже представлена расширенная таблица разных точек зрения на понятие устойчивого сельского хозяйства.

Таким образом, можно отметить, что понятие устойчивости сельского хозяйства эволюционирует и видоизменяется: от простой идеи экологического сельского хозяйства происходит постепенный переход к многосторонней сложной системе. Появление разносторонних толкований данного понятия приводит к существованию комплементарных определений, которые используются по-разному в зависимости от конкретной ситуации.

В научном сообществе ведутся постоянные дискуссии о концепции устойчивого развития сельского хозяйства, и пока нет единого стандарта, политические деятели, масс-медиа и фермеры пытаются разобраться и внедрить новую практику ведения сельского хозяйства. Однако каждый участник или группа строят свои представления на основе собственных субъективных пониманий, интерпретаций, навыков. Исследования показывают, что фермеры ставят под сомнение согласованность идеологической концепции устойчивого развития (с преобладанием экологической составляющей) и структуры потребления в современном западном обществе. Они отмечают сложность внедрения этой концепции. Касательно устойчивого сельского хозяйства, одни фермеры понимают его как мест-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ное сельскохозяйственное производство (сторонники органического сельского хозяйства), другие характеризуют его как продуктивное (борцы за традиционное сельское хозяйство). Для первых устойчивое сельское хозяйство должно способствовать сохранению природных ресурсов в целом путем неиспользования химических веществ. Вторая группа уверена в том, что сельское хозяйство должно быть продуктивным, чтобы прокормить растущее мировое население и, попросту, чтобы выжить [18].

Устойчивое развитие аграрного сектора характеризуется тремя главными составляющими: экологической, экономической и социальной. Критериями экономического развития отрасли является поддержание экономической эффективности производства и рост производительности, чтобы иметь возможность вести расширенное производство и удовлетворять растущее население безопасными продуктами питания. Экологическое развитие сельского хозяйства поможет бороться с изменениями климата, избежать ухудшения состояния земель. Социальное направление заключается в улучшении жизни сельского населения, стабилизации демографических и миграционных процессов на селе [9].

Выводы

Из вышесказанного следует, что существуют различные представления об УР в целом и УР в аграрном секторе в частности. Структурированный обзор литературы позволил понять, что существующие определения в большей степени дополняют друг друга и дают полное представление о трех компонентах устойчивого развития в аграрном секторе. Отметим, что в целом устойчивое развитие сельского хозяйства понимается как сложная система сельскохозяйственного производства, которая в долгосрочном периоде удовлетворяет потребность населения в продуктах питания, обеспечивает эффективное использование природных и биологических ресурсов, поддерживает экономическую жизнеспособность производства и повышает качество жизни фермеров и общества в целом.

Было выявлено, что существуют некоторые различия в понимании концепции устойчивого развития учеными и специалистами-практиками, фермерами. Фермеры отмечают сложность в претворении в жизнь аспектов устойчивого развития. Многие из них стремятся сделать свое производство экономически более эффективным и продуктивным, другие склоняются на экологическую сторону и отказываются использовать химические вещества в своем производстве. Таким образом, различные представления об устойчивом развитии объясняются тем, что каждый пытается подстроить понятие об устойчивости сельского хозяйства в соответствии со своим образом мышления.

Список литературы

1. Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ. / под ред. С.А. Евтеев, Р.А. Перелет. – Москва: Прогресс, 1989. – 376 с.
2. Пшихачев С.М. Парадигма устойчивого развития аграрной сферы // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2005. – Т.3, №1. – С. 114-127.
3. Гостева С.Р. Переход к устойчивому развитию – определяющая парадигма модернизации России / РЕГИОН: системы, экономика, управление. – 2015. – №1(20). – С. 8-20.
4. Maillefert M. Lectures hétérodoxes du developpement durable / M. Maillefert, S. Rousseau, B. Zuindeau // Développement durable et territoires [En ligne]. – 2010. – Vol.1, Issue 3.
5. Шумакова О.В. Теоретические аспекты устойчивого развития сельских территорий в современной науке / О.В. Шумакова, О.В. Косенчук // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №6. – С. 1-8.
6. Щукина Л.В. Теоретические аспекты устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Псковский регионологический журнал. – 2015. – №21. – С. 38-50.
7. Ramonet M. Les activités agricoles et la protection de l'environnement: Rapport d'information de la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire №1237 / Assemblée Nationale. – 2003. – 207 p.
8. Douglas H. Constance. Sustainable Agriculture in the United States: A Critical Examination of a Contested Process // Sustainability. – 2010. – Issue 2. – P. 48-72.
9. Иванов В.А. Методологические основы устойчивого развития аграрного сектора / В.А. Иванов, С.А. Пономарева // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2011. – №4(16). – С. 109-121.
10. Меняя наш мир: повестка дня устойчивого развития до 2030 года // Доклад Рабочей группы открытого состава Генеральной Ассамблеи по целям в области устойчивого развития. – 2014. – 29 с.
11. Harwood R. R. A history of sustainable agriculture // Sustainable Agricultural Systems: Soil and Water Conservation Society; Edwards C.A. (dir.). – USA, 1990.
12. Agriculture et exploitation agricole durables:

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et les frontières de la durabilité en agriculture / Zahm F. [et al.] // Innovations Agronomiques. – 2015. – Issue 46. – P. 105-125.
13. Ушачев И.Г. Устойчивое развитие агропродовольственного сектора: основные направления и проблемы // Доклады пленарного заседания Второго Всероссийского конгресса экономистов-аграрников, 13-15 февраля 2006 г. – М.: Росинформагротех, 2006. – С. 3-25.
14. Федеральный закон от 29 декабря 2006 г. №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства».
15. Курцев И.В. Системные принципы устойчивого развития сельского хозяйства // Никоновские чтения. – 2008. – №13. – С. 648-650.
16. На пути к устойчивому развитию // Бюллетень Института устойчивого развития Общественной палаты РФ. 2012. – №61.
17. Сталий розвиток: світоглядна ідеологія майбутнього: монографія / М.А. Хвесик [та др.]. – К.: ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», 2012. – 465 с.
18. Bihannic L., Michel-Guillou E. Développement durable et agriculture durable: sens du concept de «durabilité» à travers la presse régionale et le discours des agriculteurs // Développement durable et territoires [En ligne]. – 2011. – Vol.2, Issue 3.

M. A. Kompaniyets
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE AGRICULTURAL SECTOR

Background. *At the end of the XX century, the term "sustainable development" (SD) was introduced, which is understood as "the development that meets the needs of the present time, but does not compromise the ability of future generations to meet their own needs". However, to date, there is no single approach to this concept. In agriculture, the concept of "sustainable agriculture" is more common, which aims to ensure the economic efficiency of the sector, support environmental safety and improve the quality of farmers' life.*
Materials and/or methods. *Based on a scientific literature review, systematization of different approaches and scientific points of view, the chronological sequence in the development of sustainable agriculture composed.*
Results. *According to the objectives the historical development of the concepts of "sustainable development" and "sustainable agriculture" are considered. The sustainable development of the agricultural sector is characterized as a complex system consisting of three components, which in the long term meets the requirements of population in food products, ensures the efficient use of natural and biological resources, supports the economic viability of production and improves the quality of life for farmers and society as a whole. Farmers strive to understand and implement the concept of SD. However, each participant differently interprets it depending on his own beliefs and views. The emergence of many various interpretations leads to their mutual complementarity and shows the complexity of the concept of sustainable development in the agricultural sector.*
Conclusion. *Discussions about the concept of SD are held both in academia and within the community of farmers and practitioners. Studies show that the concept of sustainable agriculture develops and transforms from a simple idea of ecological agriculture to a multilateral complex system of three interrelated components: environmental, economic and social. In practice, however, there are still difficulties with the implementation of ideas of sustainable development in agriculture.*

Keywords: *sustainable development, agricultural sector, sustainable agriculture.*

Сведения об авторе
М.А. Компаниец
SPIN-код: 8274-0180
Телефон: +380 (50) 646-00-66
Эл. почта: spatiale@i.ua

Статья поступила 24.07.2016 г.
© М.А. Компаниец, 2016
Рецензент д.э.н., проф. В.А. Кучер

К 85-летию ВЛАДИМИРА ГЕОРГИЕВИЧА ГУЛЯЕВА



Владимир Георгиевич Гуляев родился 28 мая 1931 г. в г. Дружковка Донецкой обл. В 1948 г. поступил учиться в Донецкий индустриальный институт, который окончил в 1953 г. с отличием по специальности «Горное машиностроение» и получил квалификацию горного инженера-механика. Оставлен для научно-педагогической работы на кафедре «Горные машины» института.

С 1953 по 1959 г. Владимир Георгиевич работает ассистентом и ответственным исполнителем научно-исследовательских работ по разработке средств и методов тензометрических исследований в шахтных условиях широкозахватных выемочных машин. В 1959 г. поступил в аспирантуру, в 1960 г. прошел научную стажировку в Горной академии г. Клаусталь-Целлерфельд (ФРГ), в 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию.

С 1964 по 1968 г. работал доцентом и по совместительству заместителям декана горно-электромеханического факультета, участвовал в разработках новых датчиков и аппаратуры для измерения, регистрации и анализа экспериментальных данных, полученных при натурных исследованиях узкозахватных угледобывающих комбайнов конструкции института Гипроуглемаш: 2К52, БК52, 1К101У и др.

С 1968 по 1971 г. В.Г. Гуляев, работая доцентом, подготовил к публикации монографию «Аппаратура и методы исследования горных машин», соавторы: Я.И. Альшиц, Б.А. Кузнецов, Ф.В. Костюкевич и др. (г. Москва, Изд-во «Недра», 1969 г.), и сборник научных статей «Горные машины» по результатам комплексных исследований комбайнов 1К101У (г. Киев, 1971 г.), а также организовал экспозицию «Комплект измерительной аппаратуры для исследования угледобывающих комбайнов в шахтных условиях» на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

С 1972 по 1984 г. Владимир Георгиевич осуществлял научное руководство научно-исследовательской работой по государственной тематике и по заданиям промышленных предприятий. С 1984 по 2004 г. заведовал кафедрой, разрабатывал программы новой специальной дисциплины «Проектирование и конструирование горных машин и комплексов».

Под руководством профессора В.Г. Гуляева в период с 1972 по 2004 г. выполнено 23 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по заданиям промышленности (в т.ч. 8 работ, включенных в план важнейших по постановлению Совета Министров УССР №146 от 29.02.1980 г.). По результатам научно-исследовательских работ защищена докторская диссертация, разработаны: технические задания на создание шнековых исполнительных органов с виброзащитными устройствами, 7 нормативных документов и материалов (руководящих документов, стандартов предприятия, в т.ч. РД42.046-90 Комбайны очистные. Определение нагрузок и рациональных динамических параметров системы привода. Методика. – М.: Гипроуглемаш, 1990. – 35 с.). Под руководством В.Г. Гуляева создана научная школа в области раскрытия закономерностей формирования динамических процессов для разработки средств и методов повышения надежности горных машин.

По сформированному научному направлению В.Г. Гуляев подготовил 4 доктора технических наук: П.А. Горбатов (1991 г.), Л.Н. Сигалов (1992 г.), А.К. Семенченко (1997 г.), В.П. Кондрахин (1999 г.) и 9 кандидатов технических наук. Успешно руководит подготовкой докторантов, аспирантов и магистрантов, научной работой студентов, за 20 лет заведования кафедрой Владимир Георгиевич подготовил 8 докторов и 17 кандидатов технических наук.

Научные и практические результаты диссертационных исследований широко внедрены в промышленности и в учебном процессе при под-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

готовке конструкторов-проектировщиков современных сложных энергонасыщенных горных машин и оборудования.

Более чем двадцатилетняя деятельность В.Г. Гуляева заведующим кафедрой характеризуется значительными достижениями его и возглавляемого им коллектива в научной, учебно-методической и воспитательной работе. Они обеспечили высокий авторитет и признание достижений научно-педагогической школы кафедры «Горные машины» научно-технической общественностью Украины, а также зарубежными учеными и специалистами в области развития прогрессивных методов разработки и оптимального проектирования современных горных машин и оборудования высокого технического уровня. Всего, за годы деятельности кафедры, подготовлено 10 докторов и 70 кандидатов технических наук, 40 магистров и более 4000 инженеров по специальности «Горные машины». Значительная их часть обусловлена эффективной деятельностью В.Г. Гуляева, работающего на кафедре 63 года.

С января 2005 г. по настоящее время В.Г. Гуляев ведет активную научную, научно-методическую и педагогическую работу. Только за последние 5 лет он опубликовал 4 новых учебных пособия по дисциплине «Проектирование и конструирование горных машин и комплексов», научную монографию «Виброакустические процессы и надежность гидроэнергетических установок очистных комплексов». Подготовил 1-го кандидата технических наук (С.А. Китаева защитила диссертацию и стала победителем областного конкурса «Лучший молодой ученый 2013 г.») и 6 магистров специальности «Компьютерное проектирование мехатронного горного оборудования».

Перу В.Г. Гуляева принадлежит более 350 научных работ, в т.ч. 26 изобретений, четыре монографии, учебник и четыре учебных пособия для вузов. Он автор типовой программы и учебника с грифом Министерство высшего и среднего специального образования СССР «Проектирование и конструирование горных машин и комплексов» (1988 г.), за создание которого ему и соавторам присуждена Государственная премия УССР в области науки и техники (1990 г.). В 1996 г. профессору В.Г. Гуляеву присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Украины».

Изданные В.Г. Гуляевым в 2010-2014 г.г. учебные пособия по дисциплине «Проектирование и конструирование горных машин и комплексов» соответствуют современным требованиям к машинам мехатронного класса, отражают отечественный и зарубежный опыт их создания, тенденции и проблемы дальнейшего развития.

Профессор В.Г. Гуляев известен за рубежом по публикациям и научным докладам на международных конгрессах, симпозиумах и конференциях по результатам выполненных им исследований и разработок. Имеет многолетний опыт высокопрофессионального преподавания дисциплин: «Проектирование и конструирование горных машин и комплексов», «Принципы оптимального многокритериального проектирования», «Горные машины и комплексы», «Комплексная механизация очистных работ», «Теория технических систем», «Управление качеством горных машин», «Основы взаимозаменяемости, стандартизация и технические измерения», «История инженерной деятельности».

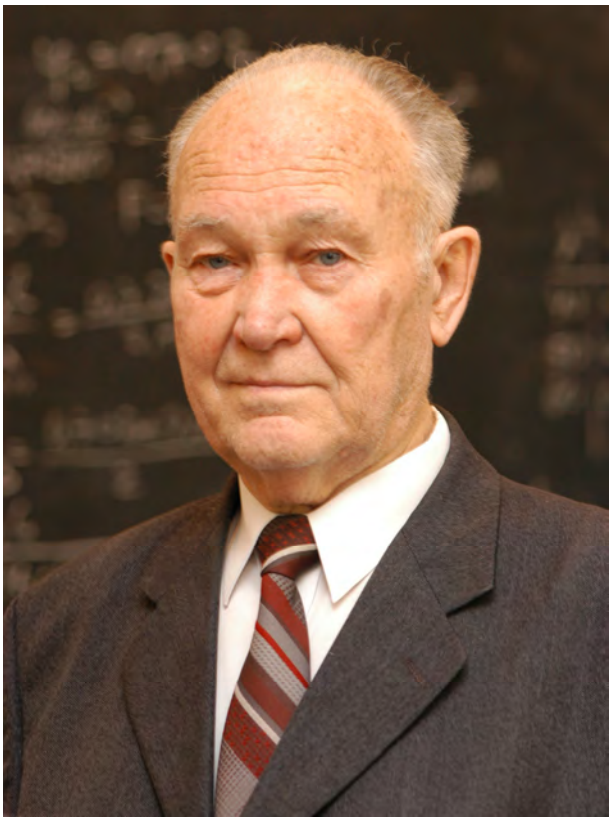
За многолетний высококвалифицированный и эффективный труд на кафедре «Горные машины» Донецкого национального технического университета профессор В.Г. Гуляев удостоен ряда Государственных и отраслевых наград, в т.ч. почетного знака «Шахтерская слава» трех степеней, в 2015 г. решением Ученого Совета университета ему присуждено звание «Почетный профессор».



Встреча выпускников в декабре 2013 г. кафедры «Горные машины», гр. МАШ-32

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ПАМЯТЬ ОБ УЧИТЕЛЕ



29-го февраля 2016 г. - ушел из жизни старейший преподаватель Донецкого национального технического университета, бессменный заведующий кафедрой «Сопротивление материалов» профессор Шевченко Феофан Леонтьевич.

Ф.Л. Шевченко окончил Донецкий индустриальный институт по специальности «Промышленное и гражданское строительство» в 1953 г. с отличием и был оставлен для работы в институте на кафедре «Сопротивление материалов» в должности ассистента.

Работая в этой должности до 1961 г., он отлично освоил учебно-методическую работу по дисциплинам: сопротивление материалов, строительная механика и теория упругости, проводя практические и лабораторные работы, принимая активное участие в учебно-методических семинарах кафедры под руководством заведующего кафедрой В.С. Рекшинского.

В это время, совместно с коллективом кафедры, разработал и опубликовал методические указания по всем расчетным работам по дисциплинам сопротивления материалов и строительной механики, а также руководства по выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов.

Наряду с методической работой выполнял некоторые научные задания в соответствии с кафедральной научно-исследовательской работой по совершенствованию метода конечных разностей в теории упругости (под руководством доц. В.С. Рекшинского).

В начале шестидесятых годов прошлого века по заданию советского правительства в СССР начались разработки по созданию высокоэффективных многоканатных шахтных подъемных машин со шкивами трения. Т.к. в стане была четкая регламентация по выпуску шахтных подъемных машин по профилированию ведущих машиностроительных заводов, то на долю Донецкого машиностроительного завода им. Ленинского Комсомола Украины и проектно-технологических институтов Донгипроулемаш и НИПТИуглегормаш выполнение правительственного задания по созданию многоканатных шахтных подъемных машин легло первостепенной ответственностью.

К этому времени кафедра «Сопротивление материалов» Донецкого политехнического института с вышеперечисленными производственными организациями имела проверенные творческие связи, и приглашение кафедры принять участие в выполнении правительственного задания было естественным.

Разработка инженерной теории расчета оболочек шкивов трения на прочность была поручена старшему преподавателю (с 1961 г.) Ф.Л. Шевченко, который в кратчайший срок разработал теорию расчета многоканатных подъемных машин с внедрением ее на практике. При этом, шла подготовка диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук и в начале 1961 г. Феофан Леонтьевич был переведен на должность старшего преподавателя, 10 мая 1963 г. он защитил кандидатскую диссертацию «Расчет оболочек шкивов трения многоканатных шахтных подъемных машин» в Харьковском институте горной механики, автоматики и вычислительной техники.

Вскоре, после утверждения и присуждения ученой степени, он был избран на должность доцента кафедры «Сопротивление материалов». Затем, 28 июля 1967 г. он по конкурсу был избран на должность заведующего кафедрой и проработал на этой должности (с небольшим перерывом в связи с подготовкой докторской диссертации) до 2014 г.

Первоочередной задачей новый заведующий поставил капитальный ремонт помещений кафедры. Эта хозяйственная труднейшая задача была успешно решена под руководством Ф.Л. Шевченко.

В 1982 г. В.Г. Гейер (заведующий кафедрой

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



«В начале славных дел»
(Ф.Л. Шевченко вместе с учителем –
Василием Семеновичем Рекшинским)

«Рудничные гидропневматические установки и гидравлика») пригласил Ф.Л. Шевченко принять участие в выполнении хоздоговорной работы в отраслевой лаборатории кафедры по освоению Мирового океана (рук. лаборатории В.С. Пащенко). Эта лаборатория, в содружестве с другими учебными заведениями, научно-исследовательскими институтами, конструкторскими бюро и заводами бывшего СССР (около 50 организаций), работала по важнейшему заданию Мин-Моргео СССР по разработке и доставке со дна океана с глубин более 6000 м конкреций – конгломератов с высокой концентрацией железа и марганца (и других ценных компонентов). Ф.Л. Шевченко и З.Е Филер разработали теорию расчета напряженно-деформированного состояния упругого трубчатого транспортного трубопровода на воздействие подводных течений с учетом собственного веса трубы, веса коммуникационных средств, электрокабеля, бункера накопителя конкреций и реакции натяжений гибкого шланга агрегата сбора конкреций.

В 1985 г. Ф.Л. Шевченко присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности «Горные машины» и «Динамика и прочность машин», а в 1986 г. присвоено ученое звание профессора по кафедре «Сопротивление материалов», и Почетное звание Заслуженного работника народного образовании Украины.

В 1999 г. руководство ГХК «Спецшахтобурение» обратилась на кафедру с просьбой помочь в ликвидации аварии на шахте «Краснолиманская №2», связанной с обрывом бурового агрегата массой 90 т, которую не смогли самостоятельно ликвидировать в течение 9-ти месяцев, и которую ликвидировали с помощью ловушки массой 50 кг, разработанной и изготовленной коллективом, возглавляемым проф. Ф.Л. Шевченко. При этом экономический эффект составил более трех млн. грн.

Впоследствии, хоздоговорная работа кафедры «Сопротивление материалов» с ГКХ «Спецшахтобурение» расширилась. На кафедре начались разработки теории математического моделирования напряженно-деформированного состояния буровых ставов буровых установок типа «WIRTH» и установок реактивно-турбинного бурения. В этих исследованиях впервые в практике расчета напряженно-деформированного состояния буровых ставов учитывалась динамика длинных упругих стержней с учетом собственного веса и технологических нагрузок. Задача сводится к решению неоднородных уравнений Бесселя, что обусловливается некоторыми затруднениями в инженерном использовании расчетов. Эти исследования проводились в докторантуре с отрывом от производства под руководством проф. Ф.Л. Шевченко доц. Г.М. Улитиным и Ю.В. Петтиком

Г.М. Улитин досрочно подготовил и защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности «Динамика и прочность машин» в 2004 г. в Национальном Горном университете (Днепропетровск).

В последнее время профессор Ф.Л. Шевченко возглавлял научно-исследовательскую работу кафедры по направлению «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния упругих стержневых систем и разработка инженерных методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций промышленного оборудования и сооружений с целью обоснования геометрических параметров, обеспечивающих их надежность и эффективность».

Профессор Ф.Л. Шевченко является автором 253 учебно-методических и научных публикаций общим объемом 360 п.л., в т.ч. 220 п.л. учебных пособий с грифом Министерства образования и науки (16 работ).

Многочисленные ученики, коллеги и друзья Феофана Леонтьевича выражают соболезнование его семье и присоединяются к ней в скорби.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

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 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета

Научный журнал «Культура и цивилизация»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №340 от 06.11.2015

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
09.00 – Философские науки;
23.00 – Политология;
Подробная информация - http://cic.sgi.donntu.ru

Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016
Включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР (приказ МОН ДНР №1134 от 01.11.2016 г.)

Международный научный журнал «Проблемы горного давления»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №339 от 06.10.2015

ISSN 1682-1092 (print), 2413-581X (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
05.26 – Безопасность деятельности человека;
25.00 – Науки о земле;
Подробная информация - http://pgd.donntu.ru

Сборник научных трудов «Прогрессивные технологи и системы машиностроения»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №324 от 06.08.2015

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
01.02 – Механика;
05.02 – Машиностроение и машиноведение;
05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы;
Подробная информация - http://ptsm.donntu.ru

ISSN 2073-3216 (print), 2518-7120 (online)
Договор с РИНЦ от 12.04.2013 г. №177-04/2013

Сборник научных трудов «Научные труды ДонНТУ. Серия: горно-геологическая»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №304 от 06.08.2015

ISSN 2073-3216
Договор с РИНЦ от 23.07.2013 г. №427-07/2013

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
25.00 – Науки о земле;
05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение;

Сборник научных трудов «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №310 от 06.08.2015

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
01.01 – Математика;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
25.00 – Науки о земле;

ISSN 2411-720X (print), 2413-0834 (online)
Договор с РИНЦ от 09.04.2015 г., № 214-04/2015

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

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

Основные задачи ДонНТУ на 2016-й год:

1) Восстановление контингента студентов.
2) Восстановление количественных и качественных показателей преподавательского состава.
3) Восстановление и развитие материально-технической базы.
4) Поиск и реализация инновационных путей развития.
5) Укрепление репутации ДонНТУ как важнейшего в Донбассе и одного из наиболее значительных на всем русскоязычном пространстве научно-образовательных центров технического направления.

ДонНТУ уверенно смотрит в будущее и достойно, с новыми достижениями, встретит свой 95-летний юбилей в 2016 году!



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

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

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