

22

ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2018-22

Міністерство освіти і науки України
Українська інженерно-педагогічна
академія

Піднімально-транспортні
машини
Динаміка та міцність машин
Верстати та інструменти
Технологія машинобудування

Машинобудування

Машиностроение

Engineering

Lifting-and-shifting machines
Dynamics and strength of ma-
chines
Machine-tools and instruments
Engineering technology

Збірник наукових праць

Видається 2 рази на рік

Видається з грудня 2007 р.

УІПА

2018
Харків

Редакційна колегія:**Головний редактор**

Купріянов О. В., д.тех.н., доц.

Заступник головного редактора:

Тарасюк А. П., д.тех.н., проф.

Члени колегії:

Венцель С. С., д.тех.н., проф.

Гордєєв А. С., д.тех.н., проф.

Григоров О. В., д.тех.н., проф.

Залога В.О., д.тех.н., проф.

Литвин О. М., д.ф.-м.н., проф.

Ловейкін В. С., д.тех.н., проф.

Резніченко М. К., д.тех.н., проф.

Рябчиков М. Л., д.тех.н., проф.

Соколов, В. І., д.тех.н., проф.

Фідровська, Н. М., д.тех.н., проф.

Хавін Г. Л., д.тех.н., проф.

Dasic, Predrag V., D.Sc., Prof.

Hartmann U., Dr.-Ing.

Tora G., DSc, PhD, MSc

Редакція:**Відповідальні редактори**

Подольак О.С., к.тех.н., доц.

Сичов Ю.І., к.тех.н., доц.

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Редактор

Ротова Н.В.

Випусковий редактор

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Відповідальний секретар

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Дизайнер

Жубр В.А.

Адреса редакції:

Україна, 61003, м. Харків

вул. Університетська, 16

Українська інженерно-педагогічна академія

Тел. (057)733-78-18

Факс (057)731-32-36

E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

Address of editorial office:

16 Universitetska vul., Kharkiv

61003, Ukraine

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Tel. (057)733-78-18

Fax (057)731-32-36

Машинобудування

2018, № 22

Збірник наукових праць

Засновник

Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА)

Видається з грудня 2007 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкова-
ного засобу масової інформації

Серія КВ № 12132 – 1016Р від 26.12.2006.

ISSN 2079 – 1747

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22

Мови видання:

українська, російська, англійська

Друкується за рішенням Вченої ради УІПА,
протокол № 5 від 26 грудня 2018 р.

При використанні матеріалів збірника посилання
на збірник – обов'язкове.

Журнал відображено у базах даних:

Національна бібліотека України імені

В. І. Вернадського – <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

Російська електронна бібліотека (РІНЦ) –

<http://elibrary.ru/>

Index Copernicus – <http://www.indexcopernicus.com/>

Google Scholar – <http://scholar.google.com.ua/>

ROAR (Registry of Open Access Repositories) –

<http://roar.eprints.org/>

OpenDOAR (The Directory of Open Access Reposi-

tories) – <http://www.opendoar.org/>

© Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА), Харків, 2018

Уважаемые авторы публикаций!

Редакционная коллегия сборника «Машиностроение» предпринимает шаги по повышению качества нашего издания, направленные на вхождение в ведущие мировые наукометрические базы. С этой целью сайт сборника перенесен на платформу Open Journal Systems и вводится независимое рецензирование подаваемых к публикации рукописей. Сборник «Машиностроение» теперь имеет собственный сайт, который располагается по ссылке: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Использование платформы Open Journal Systems позволяет автоматизировать весь издательский процесс: подачу рукописей авторами, рецензирование, внесения редакторских правок, размещение статей в открытом доступе их последующее индексирование наукометрическими базами. Мы начинаем принимать рукописи через сайт сборника, и предоставлять там результаты рецензирования. Для этого все участники издательского процесса, от авторов до рецензентов и редакторов, должны зарегистрироваться на сайте. Сайт доступен в трех языковых версиях: украинский, русский и английский, поэтому у наших иностранных авторов языковых проблем быть не должно. На время переходного периода рукописи принимаются и по старой схеме, но давайте вместе осваивать перспективную редакторскую платформу.

С целью обеспечения высокого качества издаваемых статей, получившие низкую оценку рецензентов материалы не будут опубликованы. В случае технических трудностей, пишите нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

Приглашаем специалистов в области машиностроения участвовать в рецензировании, в процессе регистрации на сайте сборника есть возможность подать запрос на добавление в рецензенты.

Мы прикладываем усилия по расширению географии авторов, и приглашаем как украинских, так и зарубежных авторов подавать рукописи в сборник. При подаче статьи следует следить за правилами оформления и академической добропорядочностью.

Давайте вместе постоянно улучшать наш сборник с целью вывести его в лидеры машиностроительного направления!

Главный редактор

Куприянов Александр Владимирович

Шановні автори публікацій!

Редакційна колегія збірника «Машинобудування» вживає заходів щодо підвищення якості нашого видання, спрямовані на вхождення в провідні світові наукометричні бази. З цією метою сайт збірника перенесений на платформу Open Journal Systems і впроваджується незалежне рецензування рукописів, що подаються до публікації. Збірник «Машинобудування» тепер має власний сайт, який розташовується за посиланням: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Використання платформи Open Journal Systems дозволяє автоматизувати весь видавничий процес: подачу рукописів авторами, рецензування, внесення редакторських правок, розміщення статей у відкритому доступі і їх подальше індексування наукометричними базами. Ми починаємо приймати рукописи через сайт збірника, і надавати там результати рецензування. Для цього всі учасники видавничого процесу, від авторів до рецензентів і редакторів, повинні зареєструватися на сайті. Сайт доступний в трьох мовних версіях: українська, російська та англійська, тому у наших іноземних авторів не повинно бути мовних проблем. На час перехідного періоду рукописи приймаються і за старою схемою, але давайте разом освоювати перспективну редакторську платформу.

З метою забезпечення високої якості видавання, статі, які отримали низьку оцінку рецензентів, не будуть опубліковані. У разі виникнення труднощів, пишіть нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

Запрошуємо фахівців в галузі машинобудування брати участь у рецензуванні, в процесі реєстрації на сайті збірника є можливість подати запит на додавання в рецензенти.

Ми докладаємо зусиль по розширенню географії авторів, і запрошуємо як українських, так і зарубіжних авторів подавати рукописи до збірника. При подачі статті слід стежити за правилами оформлення та академічної доброчесністю.

Давайте разом постійно покращувати наш збірник з метою вивести його в лідери машинобудівного напрямку!

Головний редактор

Куприянов Олександр Володимирович

Dear Authors,

The editorial board of the journal "Engineering" is taking steps to improve the quality of our publication with the aim of entering the world's leading scientometric databases. Accordingly, the website of the journal is moving to the Open Journal Systems platform and an independent review of manuscripts submitted for publication is being introduced. The journal "Engineering" now has its own website, which you can visit following the link <http://jmash.uipa.edu.ua>.

Using the Open Journal Systems platform allows automating the entire publishing process, which includes submitting manuscripts by authors, reviewing, editing, publishing articles in the open access, and then indexing them by scientometric databases. We are beginning to accept manuscripts via the website of the journal, which is where we are also starting to present the results of reviewing. To this end, all participants in the publishing process, from authors to reviewers and editors, must register on the website.

The website is available in three languages: Ukrainian, Russian and English, so our foreign authors will not encounter any language-related problems. During the transition period, the manuscripts are still accepted according to the previous scheme, but let us start exploring this promising editorial platform together.

In order to ensure high quality of published articles, those papers which have received a low rating from reviewers will not be published. In case of technical difficulties, please email us at mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

We are inviting specialists in the field of mechanical engineering to take part in reviewing; for this purpose, while registering on the website of the journal there is an opportunity to submit a request to become a reviewer.

We are making efforts to expand the geography of the authors, so we are inviting both Ukrainian and foreign authors to submit manuscripts to the journal. When submitting an article, you should follow the guide for authors and the rules on academic honesty.

Let us together constantly improve our journal in order to make it a leader in the field of mechanical engineering.

Oleksandr Kupriyanov
Editor-in-Chief

Піднімально-транспортні машини.....6

Ковалевський С. В., Залужна Г. В. Шляхи підвищення надійності та забезпечення швидкодії спрацювання запираючих пристроїв пневмотранспортних установок для належного захисту навколишнього середовища.....6

Фідровська Н. М., Перевозник І. А. Вплив засобу встановлення підкранової рейки на її напружений стан11

Фідровська Н. М., Писарцов О. С., Водолажський В. П. Визначення максимального кута відхилення канату набігаючого на блок17

Верстати та інструменти.....22

Новиков Ф. В., Дитиненко С. А. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования22

Полянский В. И. Эффективное применение современных технологий механической обработки28

Скоркін А.О., Кондратюк О.Л., Старченко О.П., Протопова А. С. Дослідження процесу обробки складних фасонних поверхонь на основі нелінійних формотворних рухів34

Стрельчук Р.М. Исследование съема алмазоносного слоя круга под воздействием единичных электрических разрядов.....41

Динаміка та міцність машин.....49

Ловейкін В.С., Почка К.І., Ромасевич Ю.О., Почка О.Б. Вплив кута зміщення кривошипів на динаміку роликової формувальної установки із врахуванням дисипативних властивостей рекупераційного привідного механізму.....49

Технологія машинобудування.....72

Агарков В.В., Ясько С.Г. , Фролов Е.А. , Дерябкина Е.С. К вопросу автоматизированного проектирования переналаживаемой технологической оснастки для листовой штамповки и прессования72

Гордєєв А. С. Стандартизация технологических процессов в полиграфии81

Дерябкина Е.С., Огер В.В. Выбор способа и разработка технологии восстановления деталей автотракторной техники.....	86
Ізотова К.О., Тіщенко А.А. Розробка флюсу для газового зварювання алюмінію.....	93
Калін М. А. Розробка електродів для зварювання міді.....	99
Князева В.Н., Канюк Г.И., Мезеря, А.Ю., Андреев А.В. Снижение погрешностей измерения расхода нефти в магистральных нефтепроводах, обусловленных пульсациями нестационарностью потока	105
Ламнауер Н. Ю. Принцип побудови єдиної карти контролю за точністю розмірів виробів машинобудування.....	114
Лаппо І. М., Гордєєв А. С. Дослідження впливу керованих параметрів в зоні різання на точність профілю отвору під час оброблення осьовим інструментом.....	121
Резниченко Н.К. Дереза К.А. Исследование работы монорельсового пути усиленного приваркой полосы	129
Маліцький І. Ф., Смирнов І. П. Теплодинамические характеристики при сборке колесной пары локомотивов с термовоздействием.....	135
Черняк Е. Н, Трищ Р. М., Моргунов В. В. Методика розрахунку поглинутої дози рухомого об'єкта, що опромінюється прискореними електронами	142
До уваги авторів.....	148

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-6-10

УДК 621.867.82

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШВИДКОДІІ СПРАЦЮВАННЯ ЗАПИРАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ УСТА- НОВОК ДЛЯ НАЛЕЖНОГО ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

©Ковалевський С. В., Залужна Г. В.

*Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Української інженерно-педагогічної академії (м. Бахмут)*

Інформація про авторів:

Ковалевський Сергій Васильович: ORCID: 0000-0003-3377-3192; ems_nnppi@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Миру, 5, м. Бахмут, 84500, Україна.

Залужна Галина Володимирівна: ORCID: 0000-0003-4810-9737; zalartem@gmail.com; кандидат фізико-математичних наук; доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Миру, 5, м. Бахмут, 84500, Україна.

В статті розглянуто використання запираючих пристроїв живлення пневмотранспортних систем та можливості підвищення швидкості дії їх спрацювання. Запропоновані конструкції дають можливість забезпечити продуктивність транспортування сипких матеріалів установками, а також надійну охорону навколишнього середовища і попередження забруднення атмосфери.

Ключові слова: пневмоклапани; приводи запираючих пневмосистем; діафрагмові диференціальні приводи; конструкції; удосконалення; ремонтпридатність.

Ковалевский С. В., Залужная Г. В. «Пути повышения надежности и обеспечение быстрого срабатывания запирающих устройств пневмотранспортных установок для надлежащей защиты окружающей среды».

В статье рассмотрено использование запирающих устройств питания пневмотранспортных систем и возможности повышения скорости действия их срабатывания. Предложенные конструкции дают возможность обеспечить производительность транспортировки сыпучих материалов установками, а также надежную охрану окружающей среды и предупреждение загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: пневмоклапаны; приводы замыкающих пневмосистем; диафрагменные дифференциальные приводы; конструкции; усовершенствование; ремонтпригодность.

Kovalevsky S., Zalyshna G. «Ways to improve the reliability and speed of operation of the locking devices of pneumatic conveying installations for proper environmental protection».

The article discusses the use of locking power devices for pneumatic transport systems and the possibility of increasing the speed of their operation. The proposed designs make it possible to ensure the productivity of transportation of bulk materials by plants, as well as reliable environmental protection and the prevention of air pollution.

Key words: pneumatic valves; drives of the closing pneumatic systems; diaphragm differential drives; constructions; improvement; maintainability.

1. Вступ

Пневмотранспортні системи є особливим видом транспорту, який містять свої характерні особливості розвитку, конструювання та розповсюдження. Вони використовуються в різних галузях виробництва: хімічній, енергетичній, будівельній, сільському господарстві, гірничій та інших. Використовуються для транспортування сипких, гранульованих матеріалів та шкідливих речовин. Широке застосування пневмотранспортних систем пред'являє ви-

сокі вимоги до їх надійності і підвищення ремонтпридатності. Конструктивні зміни дають можливість забезпечити підвищену безпеку в експлуатації і охорону навколишнього середовища з метою попередження викиду транспортуючого матеріалу в атмосферу.

Тому необхідно вирішувати питання підвищення надійності систем подачі стислого повітря та прискорення спрацювання керуючих пристроїв, що дасть можливість забезпечити продуктивність установок та зменшення їх габаритів.

2. Аналіз досліджень

Найбільш привабливі пневматичні системи запирання у вигляді мембранної заслінки, керованої за допомогою перемикачів, але вони здебільшого зворотної дії [1] і є постійно відкритими (ПО), в яких при відказах окремих конструктивних елементів можливо виникнення аварійних ситуацій (проникнення стислого повітря в бункері зберігання сипкого матеріалу, яке викликає недопустиме викидання транспортуючого матеріалу в атмосферу та можливе забруднення навколишнього середовища). В промисловості використовуються для запирання пневмотранспортних систем діафрагмові пневмоклапани [2] спрощеної конструкції, які мають велику швидкість спрацювання до 1 сек, але вони не надійні в експлуатації, допускають пошкодження діафрагми запирання подачі стислого повітря, що викликає забруднення навколишнього середовища транспортуючим сипким матеріалом.

У зв'язку з цим проблема розробки конструкції швидкодіючих і надійних систем запирання стислого повітря та розрахунок основних конструктивних параметрів є актуальною.

На основі аналізу результатів промислової експлуатації пневмосистем, які використовуються при транспортуванні вугільного пилу на Слов'янській ТЕС та інших підприємствах, встановлено, що діафрагмові клапани запирання подачі стислого повітря типу «пушка Гуніна» до функціональних вузлів камерного живильника [3] є ненадійними і мають відмови конструктивних елементів. Тому актуальною є задача розробки надійного та безпечного в експлуатації швидкодіючого приводу подачі стислого повітря до пневмотранспортних установок, особливо для живлення малогабаритних камерних живильників.

В результаті проведених досліджень швидкодіючих приводів запирання пневмосистем [4, 5] відмічено недоліки конструктивних елементів, в яких основним є неможливість регулювання величини ходу запираючої тарілки та недопустимі зміни напрямку повітряного потоку [2, 6].

3. Викладення основного матеріалу

На основі аналізу публікацій, даних експлуатації по використанню відомих аналогічних конструкцій швидкодіючих пневмоприводів витікають наступні задачі:

- розробка конструкції та удосконалення елементів діафрагмового диференційного приводу подачі стислого повітря до пневмосистем, в тому числі і камерного живильника;
- розрахунок конструктивних параметрів діафрагмового диференційного пневмоприводу.

Пневматичні системи є основним способом транспортування сипких матеріалів і від швидкості спрацювання та надійності питаючих стислим повітрям приводів залежить роботоздатність установок. Для забезпечення стислим повітрям пневмотранспортних установок найбільш доцільним є діафрагмовий диференційний привод відповідної продуктивності. Промисловості відомі пневмоприводи з пневматичним керуванням прямої дії, але вони не відповідають вимогам безпеки та надійності керування пневмотранспортними установками [2, 4].

Для забезпечення надійної роботи пневмотранспортних систем розроблений діафрагмовий диференційний привод. В запираючому приводі у початковий період роботи в одній вхідній порожнині підтримується магістральний тиск Γ_m , який забезпечує постійне запирання подачі стислого повітря у систему транспортування. При цьому у порожнині керування пневмоприводом підтримується атмосферний тиск Γ_0 , який забезпечує значний перепад тиску, таким чином, обидві порожнини є робочими. Порожнина керування виконана у вигляді діафрагмової системи, яка в необхідний момент здійснює через систему сполучених конструктивних елементів відкриття запираючого клапана вхідної порожнини і забезпечує подачу стислого повітря у пневмотранспортну установку [3].

Для забезпечення подачі стислого повітря до пневмотранспортної системи (наприклад, камерного живильника), розроблена конструкція діафрагмового диференційного пневмоприводу (рис. 1), який надійно зарекомендував себе в системі транспортної установки подачі вугільного пилу на Слов'янській ТЕС [3, 4]. Дана конструкція виконана на основі аналізу відомих конструкцій, патентних матеріалів та промислових іспитів аналогічних технічних рішень [1, 2, 4], а також на основних положеннях теорії руху повітряного потоку при експлуатації промислових установок [3].

Загальний вигляд діафрагмового диференційного пневмоприводу, який широко використовується переважно у сучасних пневмотранспортних системах, та характер з'єднання конструктивних елементів наведено на рис.1.

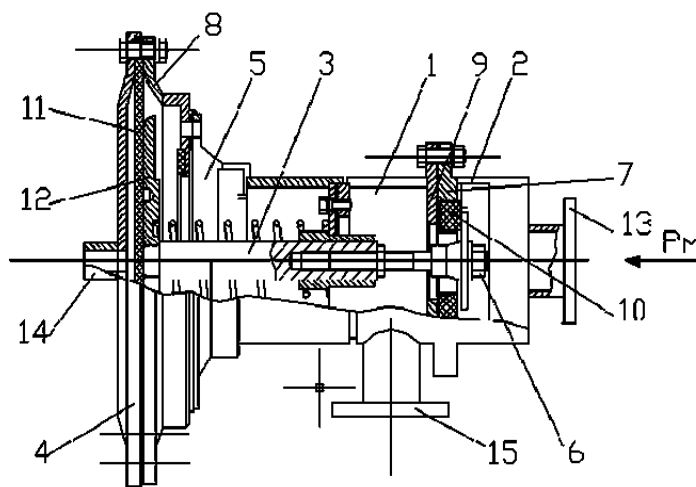


Рис. 1 – Конструкція діафрагмового диференційного пневмоприводу.

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – шток; 4 – кришка пневмокамери; 5 – стакан корпусу; 6 – регулювання положення тарілки клапана; 7 – сідло; 8 – опора пневмокамери; 9 – опора сідла; 10 – пружний елемент сідла; 11 – діафрагма; 12 – опора тарілки штока; 13 – фланець з'єднання клапана з повітряною магістраллю; 14 – подача повітря від розподільника; 15 – фланець з'єднання корпусу клапана з пневмосистемою функціональних вузлів живильника.

По даним циклограми [5] початком циклу спрацювання є час подачі стислого повітря розподільником, тобто час спрацювання $t_1 = 0,2$ сек; t_2 – час поширення хвилі тиску від розподільника до камери V_1 визначається за формулою:

$$t_2 = l / a,$$

де l – довжина трубопроводу, м;

a – швидкість поширення звуку в повітрі.

t_3 – час збільшення тиску в діафрагмовій камері до моменту початку відкриття клапану 10.

В процесі експлуатації даний привод показав себе як надійний і безпечний, але має деякі незначні конструктивні недоліки (складна конструкція корпусу приводу), необхідно передбачити роз'єднання силового і запираючого приводу в окремі вузли, що забезпечить необхідну можливість регулювання зазору між елементами та дасть можливість підвищити ремонтпридатність вузла в цілому.

Процес удосконалення пневмотранспортних систем та їх складових елементів є постійним [7] і виникає по мірі накопичення досвіду експлуатації та теоретичних досліджень. На основі експлуатаційних досліджень приведена конструкція (рис. 1) діафрагмового диференційного пневмоприводу потребує ряду вдосконалень та впровадження нових технічних рішень. Впровадження в діючі пневмотранспортні системи найбільш економічних високопродуктивних енергозберігаючих установок транспортування сипких та гранульованих матеріалів потребує створення надійних сучасних швидкодіючих елементів керування та спрацювання.

На основі цих вимог створено модернізовану систему швидкодіючого діафрагмового диференційного пневмоприводу керування пневмотранспортними установками (рис. 2).

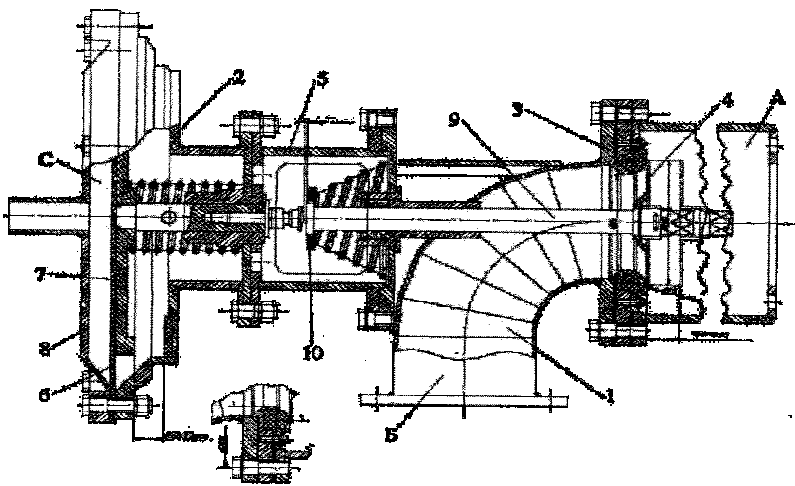


Рис. 2 – Конструкція модернізованого діафрагмового пневмопривода подачі стислого повітря до функціональних вузлів пневмотранспортної системи. А – камера подачі стислого повітря; Б – канал подачі стислого повітря до функціональних вузлів; С – пневмокамера; 1 – корпус; 2 – корпус силового приводу; 3 – сидло клапану; 4 – тарілка; 5 – елемент регулювання; 6 – діафрагма; 7 – опора діафрагми; 8 – кришка пневмокамери; 9 – шток; 10 – упор.

Конструкція діафрагмового диференціального приводу виконана у вигляді сполучення автономних функціональних вузлів і являє собою єдиний конструктивний блок, що забезпечує технологічну ремонтпридатність.

В даному конструктивному рішенні на основі технологічних міркувань внесені додаткові елементи конструкції:

- передбачена система регулювання необхідного зазору між силовими елементами діафрагмової камери та приводом запираючого клапану;
- диференційна камера керування запираючим клапаном виконана у вигляді автономного конструктивного вузла;
- введені додаткові системи попереднього тиску на сполучені елементи запираючих пристроїв;
- вузол регулювання зазору між силовими елементами діафрагмової камери та приводом запираючого клапану виконані у вигляді окремих блоків.

Технічна характеристика діафрагмового диференціального приводу для малогабаритного камерного живильника промислового зразка:

- продуктивність $Q = 2500 - 3000 \text{ м}^3/\text{г}$;

- тиск $r = 3 - 3,5 \text{ кг/см}^2$;
- зазор між рухомими елементами діафрагмової камери керування та штоком приводу клапану запирання $D = 1 - 1,5 \text{ мм}$;
- діаметр діафрагмової камери $D = 300 \text{ мм}$;
- діаметр тарілки запираючого клапану $d = 90 \text{ мм}$;
- габаритні розміри: діаметр діафрагмової камери $D_1 = 350 \text{ мм}$;
- діаметр трубопроводу подачі стислого повітря $d_1 = 100 \text{ мм}$;
- довжина клапану $L = 350 \text{ мм}$.

Крім того, внесені окремі технологічні зміни в системі подачі стислого повітря до діючих вузлів пневмотранспортної системи, які зменшують опір руху повітряного потоку. Проведені технологічні та конструктивні рішення забезпечують надійність, технологічність виготовлення, підвищують ремонтпридатність даного діафрагмового диференціального приводу в процесі експлуатації.

Висновки

Конструкція модернізованого діафрагмового диференціального приводу впроваджена в систему керування малогабаритним камерним живильником, який працює при транспортуванні вугільного пилу на Слов'янській ТЕС. В експлуатації на діючому підприємстві зарекомендував себе як надійний конструктивний елемент транспортної системи, який забезпечує безвідмовну роботу на період гарантійного ресурсу камерного живильника.

Список використаних джерел:

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Пневматические и гидравлические механизмы / И.И. Артоболевский. – М. : Наука, Т. 7, 1981. – 787 с.
2. Герц Е.В. Пневматические приводы / Е.В. Герц. – М. : Машиностроение, 1969. – 359 с.
3. Чальцев М.Н. Исследование и разработка малогабаритных камерных питателей / М.Н. Чальцев // Проблемы создания новых машин и технологий, 2000, Кременчуг : сборник научных трудов. – Кременчуг: КГПИ, 2000. – Вып.1, №8. – С. 327–329.
4. Чальцев М.Н. Зменшення витрат енергії при транспортуванні сипких матеріалів / М.Н. Чальцев // Міжнародна науково-технічна конференція, 2004, Одеса, Україна : збірник наукових праць. – Одеса, 2004. – С. 213–217.
5. Ковалевський С.В. Дифрагменный дифференциальный пневмопривод камерного питателя / С.В. Ковалевський, І.В. Голоп'яров // Гуманізація навчально-виховного процесу : Збірник наукових праць. – Вип. XLVI / За заг. ред. проф. В.І. Сипченка. – Слов'янськ : СДПУ, 2009. – С. 66–71.
6. Герц Е.В. Расчет пневмоприводов / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
7. Пат. Україна, МПК(2013.01). Камерний живильник пневмотранспортної установи / Ковалевський С.В., Романуша В.О.; заявник і власник патенту Укр. інж.-пед. акад. – № 85565; заявл. 18.05.2013; опубл. 25.11.2013; Бюл. №22.

References

1. Artobolevskij, I 1981, *Mexanizmy v sovremennoj texnike. Pnevmaticheskie i gidravlicheskie mexanizmy* Nauka. Moskva, P. 7.
2. Gerc, EV 1969, *Pnevmaticheskie privody*, Mashinostroenie, Moskva.
3. Chalcev MN, 2000 *Issledovanie i razrabotka malogabaritnyx kamernyx pitatelej*, Kremenchug.
4. Chalcev MN, 2004 *Zmenschennya vitrat energii pri transportuvanni sipkix materialiv*. Zbirnik naukovih prac. Odesa.
5. Kovalevskij SV 2009, *Diafragmennij differencialnyj pnevmoprivod kamernogo pitatelya*, Sdpu Slovyansk.
6. Gerc EV, 1975, *Raschet pnevmoprivodov*, Mashinostroenie, Moskva.
7. Pat. ukraina, MPK (2013.01). kamernij zhivilnik pnevmotransportnoї ustanovki / kovalevskij s.v., romanusha v.o.; zayavnik i vlasnik patentu ukr. inzh.-ped. akad. – № 85565; zayavl. 18.05.2013; opubl. 25.11.2013; byul. №22.

Стаття надійшла до редакції 17 жовтня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-11-16

УДК 621.86:658.788.5

ВПЛИВ ЗАСОБУ ВСТАНОВЛЕННЯ ПІДКРАНОВОЇ РЕЙКИ НА ЇЇ НАПРУЖЕНИЙ СТАН

©Фідровська Н. М.¹, Перевозник І. А.²*Українська інженерно-педагогічна академія¹**Харківський державний автомобільно-дорожній коледж²*

Інформація про авторів:

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Перевозник Ігор Анатолійович: ORCID: 0000-0002-4278-523X; mot@uipa.edu.ua; викладач циклової комісії бухгалтерського обліку; Харківський державний автомобільно-дорожній коледж; вул. Котельниківська, 3, м. Харків, 61051, Україна.

В статті були розглянуті різні схеми встановлення підкранової рейки і проведені розрахунки з урахуванням умов встановлення рейкової колії на мосту крана та закону розподілення навантаження від дії ходових коліс, які пересуваються по головній балці мосту мостового крану.

При цьому враховувалися характеристики балки, тобто її прогін, жорсткість перерізу та інтенсивність розподілення маси. Доведено, що засіб встановлення рейки на підкранову балку має значний вплив на їх напружений стан.

По результатам розрахунків зроблений висновок про вплив характеристик балки на резонансний режим коливань в головній балці.

Ключові слова: балка, рейка, колесо, прогин, частота коливання, міст, кран, візок, жорсткість.

Фидровская Н.Н., Перевозник И.А. «Влияние способа установки подкранового рельса на ее напряженное состояние».

В статье были рассмотрены разные схемы установки подкрановых рельс и проведены расчеты с учетом условий установки рельсового пути на мосту крана и закона распределения нагрузки от действия ходовых колес, которые передвигаются по главной балке моста мостового крана.

При этом учтены характеристики балки, то есть ее пролет, жесткость сечения та интенсивность распределения массы. Доведено, что способ установки рельс на подкрановую балку имеет значительное влияние на ее напряженное состояние.

По результатам расчетов сделан вывод о влиянии характеристик балки на резонансный режим колебаний в главной балке.

Ключевые слова: балка, рельс, колесо, прогиб, частота колебаний, мост, кран, тележка, жесткость.

Fidrovska N., Perevoznik I. « Influence of way mount under crane rail on her strain state».

On the article consideration different schemes mount under crane rail and follow the calculations with take into consideration conditionally placing of rail on crane bridge and the law distribution of loading from motion wheels which motion on beam of bridge crane.

In this take into consideration characters of beam that is her span, hard of section and intensive distribution of mass in main beam. Prove what way mount of rail on under crane beam have considerable influence on her strain state.

It is made a conclusion about the influence of characteristic of beam on the resonance regime of vibration.

Key words: beam, rail, wheel, bend, frequent of vibration, bridge, crane, cart, hard.

1. Вступ

Навантаження ходових коліс викликає згин і кручення кранових рейок. В інженерній практиці обмежуються розрахунком рейок на згин в вертикальній площині та на місцевий стиск. Неповноту врахування напруженого стану компенсують зниженням допустимих напружень або відповідним збільшенням розрахункових навантажень. Міцність і зносостійкість рейок визначається напругами в місцях передачі навантаження від коліс на рейку і напругами, які виникають при згині і крученні під дією нормальних, подовжніх і поперечних навантажень.

Питаннями напруженого стану рейок займалися багато видатних вчених, таких як Б.С.Ковальський [1-3], В. М.Іванов [4], В.П.Балашов [5], М.Шеффлер [6,7], Б.М.Брауде [8] та інші.

2. Постановка проблеми

Напружений стан рейки залежить також від метода укладки на балках і на фундаментах (на прокладках, на шпалах або з спиранням підшви по всій довжині).

Рейки вантажного візка мостового крана, як правило, встановлюються безпосередньо на поясний лист прогонної балки. При проведенні розрахунків міцності такої балки треба враховувати ефективний коефіцієнт концентрації напружень, які виникають в місцях закріплення рейок і накладення зварювальних швів. Для того, щоб цьому запобігти, доцільно виключити кріплення рейок між діафрагмами. Це можливо досягнути, якщо провести укладку рейки на прошки над діафрагмами. При цьому ми не тільки звільняємо від місцевих напружень верхній пояс, але і запобігаємо його ушкодженню при рихтовці рейок.

3. Викладення основного матеріалу

Найчастіше рейка спирається по всій довжині на масивний фундамент, і тоді в перерізі рейки, який знаходиться на відстані x_1, x_2 від тиску ходових коліс P_1, P_2 момент згину визначиться за формулою [1]

$$M = \frac{1}{4f} (P_{j_1} + P_{j_2} + \dots), \quad (1)$$

$$\text{де } j = e^{-bx_i} (\cos bx_i - \sin bx_i), \quad b = \sqrt[4]{\frac{kB}{4EI}},$$

де B - ширина підшви рейки,

I, E – момент інерції і момент пружності рейки.

k - модуль основи.

Тиск під подошвою рейки

$$P = \frac{b}{2B} (P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + \dots), \quad (2)$$

де $Y = e^{-bx_i} (\cos bx_i + \sin bx_i)$.

При розрахунках приймають, що функції j, y швидко затухають і тому можна допустити, що рейка навантажена одним колесом P_1 . Момент згину визначають за формулою

$$M = \frac{P}{4b}, \text{ а тиск } p = \frac{bP}{2B}.$$

На наш погляд, це допущення являється надто грубим, воно виключає пояснення появи динамічних сил в металоконструкції мосту при русі вантажного візка.

Ми проаналізували, як будуть змінюватися значення моменту згину, тиску і напружень згину при врахуванні функції j на відстані $x = 1$ м. Як бачимо, функції моменту згину, тиску і напружень представляють собою знакозмінні функції, які приводять до динамічних навантажень і передаються на металоконструкцію крана, викликаючи його коливання.

Для зменшення тиску під подошвою рейки він укладається на прокладки $l_n \sim B_n$. В роботі [3] проведено дослідження впливу укладки рейок на прошарках, які встановлені над діафрагмами, на величину тиску і напружень згину на нижній поверхні пояса балки. Експерименти, які були проведені на моделях з органічного скла і сталі 09Г2 показали, що частина поясу працює як балка на пружній основі. Застосування прошарок дозволило зменшити тиск в 1,3 - 1,6 рази, що задовільно співпадає з розрахунковими даними.

Приймаємо поправку до модуля $k l / t$. Тоді отримаємо

$$b = \sqrt[4]{\frac{kB_n}{4EJ_p}} \frac{l}{t} \quad (3)$$

Тиск на основу

$$p = \frac{bt}{2B_n l} (P_1 Y_1 + P_2 Y_2 \dots) \quad (4)$$

Б.М.Брауде [8] пропонував момент згину визначати як сумарний моментів в балці на пружній основі і в балці прольотом із защемленими кінцями

$$M = \frac{P}{4b} + \frac{Pe}{8} = \frac{P}{4b} \left(1 + \frac{be}{2}\right) \quad (5)$$

Якщо рейку встановити на полюсу шириною B_n , то формули (3), (4) будуть мати вигляд

$$b = \sqrt[4]{\frac{kB_n}{EI}} \quad (6)$$

$$p = \frac{b}{2B_n} (P_1 Y_1 + P_2 Y_2) \cdot \quad (7)$$

Крім цього, момент інерції в цьому випадку визначається по формулі:

$$J = J_p + J_n, \quad (8)$$

де J_p, J_n - моменти інерції відповідно для рейки і полоси.

Момент згину можна розподілити між рейкою і полозою пропорційно їх жорсткостям згину

$$M_p = \frac{J_p}{J} M, M_n = \frac{J_n}{J} M \quad (9)$$

Напруження згину в рейці

$$s_p = \frac{M_p}{J_p} e = \frac{M}{J} e \quad (10)$$

Напруження згину в полосі

$$s_n = \frac{M_n}{J_n} \times \frac{h}{2} = \frac{Mh}{2J} \quad (11)$$

Полоса згинається в поперечному напрямку моментом $M = \frac{pc^2}{2}$, який викликає напруження

$$s_1 = \frac{6pc^2}{2h^2} = \frac{3pc^2}{h^2}. \quad (12)$$

При шпальному шляху тиск шпали на баласт розподіляється нерівномірно, але при розмірах шпал, які звичайно приймаються, і великій їх кількості, приймають тиск рівномірним. Навантаження на шпали

$$P_h = pBL. \quad (13)$$

Момент згину в шпалі при однорейковому шляху

$$M_h = \frac{P_h L}{8}. \quad (14)$$

При двох рейковому шляху момент посередині шпали

$$M_h = \frac{P_h (c - b)}{2}, \quad (15)$$

Момент під рейкою

$$M_{h1} = \frac{P_h c^2}{2l}. \quad (16)$$

Якщо рейка вкладається на короткі шпали на бетонних або металевих балках динаміка руху зменшується. В цьому випадку модуль основи потрібно визначати не властивостями баласту, а пружними властивостями дерев'яних шпал. При цьому

$$b = \sqrt[4]{\frac{l_{np} B E_h}{4 h l E l}}, \quad (17)$$

де E_h - модуль пружності шпали при поперечному тиску;

l_{np} - приведена довжина шпали.

При металевих шпалах рейку можна розглядати як багато опорну балку. При відстані колеса $x = at$ від опори момент згину в рейці в перерізі під колесом

$$M = \frac{a(1-a)}{2} [1 + 2(\sqrt{3}-1)(1-a)] P t. \quad (18)$$

Момент згину в перерізі над опорою

$$M = \frac{a(1-a)}{2} [1 - (\sqrt{3}-1)a] P t. \quad (19)$$

Навантаження шпали змінюється по закону

$$P_h = [1 - (\sqrt{3}-1)a - (2-\sqrt{3})a^3] P. \quad (20)$$

Якщо рейка спирається на пояс двотаврової балки то податливість рейки приводе до згину рейки і поясу. У випадку, коли рейки опираються на балки коробчастого перерізу діафрагми, які приварені до верхнього поясу, можна розглядати як нерухомі опори.

Проведемо розрахунки. Приймаємо: $P_1 = 250$ кН, $P_2 = 220$ кН, рейка марки $P - 38$, $B = 114$, $I = 1222$ см⁴, $W = 180$ см³, $E = 210000$ Н/см²; $k = 12$ Н/мм³, $L = 20$ м. Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту

Вид опори	M_{max} , Н·м	S_{max} , МПа	P_{max} , МПа
Фундамент	18380	102	3,7
Смуга	10208,5	51,77	2,1
Прокладка	20534,5	114	3,15
Шпальний шлях на баласті	10625	59,2	2,0
Шпальний шлях на бетонних шпалах	2091	5	0,038
Шпальний шлях на металевих шпалах	6210	14,75	0,33
Двотаврова балка	2083	2,05	1,07
Коробчата балка	3156	1,12	0,707

Піднімально-транспортне обладнання має вирішальне значення для організації технологічних процесів по транспортуванню вантажів на різних підприємствах. Піднімально-транспортне обладнання – це розділ машинобудування, який вивчає вантажопідіймальні крани, конвеєри, навантажувачі й іншу розвантажувально-навантажувальну та транспортувальну техніку. Дане обладнання служить для транспортування штучних або насипних вантажів і є частиною, так званої, внутрішньої логістики чи логістики, яка здійснюється всере-

дині підприємства. Навпаки, логістика збуту є частиною, так званої, зовнішньої логістики. Відповідно до загальноприйнятого визначення логістика збуту містить в собі задачі планування, контроль і всі процеси, що впливають на потік товарів та інформації між виробничими підприємствами та споживачами [2].

Відповідно до визначення, що розміщено на сайті Технічного університету Хемніца [3] піднімально-транспортне обладнання служить для переміщення робочих об'єктів і людей за допомогою технічних засобів в будь-якому напрямку та на обмежених відстанях. Піднімально-транспортне обладнання грає центральну роль на підприємствах, коли мова йде про потік матеріалу. В технологічному ланцюзі всіх процесів для виробництва, переробки та розподілення товарів воно забезпечує випуск, транспортування всередині підприємства, зберігання та остаточну доставку товарів кінцевому споживачеві.

Висновки

Проведені дослідження дали змогу оцінити вплив методу укладки рейкових колій на балках мосту на їх напружений стан. Як бачимо, найменші напруження будуть при встановленні рейок на коробчастих балках, а найменша поперечна сила буде при шпальному шляху на бетонних шпалах.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б. С. Грузоподъемные краны. Передвижение кранов / Б. С. Ковальский. – Харьков : ХВКИУ, 1963. – 216с.
2. Ковальский Б. С. Вопросы передвижения мостовых кранов / Б. С. Ковальский. – Луганск : ВГУ, 1998. – 39с.
3. Ковальский Б. С. Механическое оборудование. Элементы грузоподъемных устройств / Б. С. Ковальский. – Харьков : ХВКИУ, 1971. – 340 с.
4. Иванов В. Н. О перекосе крановых ходовых колес и способе устранения его в условиях эксплуатации крана / В. Н. Иванов // Подъемно-транспортное оборудование. – 1980. – № 11. – С. 10-13.
5. Балашов В. П. Экспериментальное исследование поперечных сил при движении литейного крана г/п 100т с безребордными колесами / В. П. Балашов // Труды ВНИИПТМАШ. – 1962. – № 5. – С. 44-46.
6. Шеффлер М. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт – М. : Машиностроение, 1980. – 256 с.
7. Scheffler M. Grundladen der Fordertech nik / M. Scheffler, G. Pajer, F. Kurth. – Berlin, 1973. – 403 s.
8. Брауде В. И. Системные методы расчеты грузоподъемных машин. / В. И. Брауде, М. С. Тер-Мхитаров. – Л. : Машиностроение, 1985. – 232с.

References

1. Kovalskij, BS 1963, *Gruzopodemnye krany. Peredvizhenie kranov*, Harkovskoe vysshee voennoe komandno-inzhenernoe uchilishhe, Harkov.
2. Kovalskij, BS 1998, *Voprosy peredvizhenija mostovyh kranov*, Luganskij gosudarstvennyj universitet, Lugansk.
3. Kovalskij, BS 1971, *Mehanicheskoe oborudovanie. Jelementy gruzopodemnyh ustrojstv*, Harkovskoe vysshee voennoe komandno-inzhenernoe uchilishhe, Harkov.
4. Ivanov, VN 1980, 'O perekose kranovyh hodovyh koles i sposobe ustraneniya ego v uslovijah jekspluatacii krana', *Podemno-transportnoe oborudovanie*, no. 11, pp. 10-13.
5. Balashov, VP 1962, 'Jeksperimentalnoe issledovanie poperechnyh sil pri dvizhenii litejnogo kрана g/p 100t s bezrebornymi kolesami', *Trudy VNIPTMASH*, no. 5, pp. 44-46.
6. Sheffler, M, Pajer, G & Kurt, F 1980, *Osnovy rascheta i konstruirovaniya podmno-transportnyh mashin*, Mashinostroenie, Moskva.
7. Scheffler, M, Pajer, G & Kurth, F 1973, *Grundladen der Fordertech nik*, Berlin.
8. Braude, VI & Ter-Mhitarov, MS 1985, *Sistemnye metody raschety gruzopodemnyh mashin*, Mashinostroenie, Leningrad.

Стаття надійшла до редакції 17 жовтня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-17-21

УДК 621.863.6

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО КУТА ВІДХИЛЕННЯ КАНАТУ НАБІГАЮЧОГО НА БЛОК

©Фідровська Н. М.¹, Писарцов О. С.¹, Водолажський В. П.²*Українська інженерно-педагогічна академія¹**Харківський автомобільно-дорожній технікум²*

Інформація про авторів:

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м.Харків, 61003, Україна.

Писарцов Олександр Сергійович: ORCID: 0000-0003-4661-5441; alex.pisartsov@gmail.com; старший викладач кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м.Харків, 61003, Україна.

Водолажський Віталій Петрович: ORCID: 0000-0002-4062-5609; vodolazhskiy_vitalii@gmail.com; кандидат технічних наук; викладач циклової комісії «Експлуатація і ремонт підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин і обладнання»; Харківський автомобільно-дорожній технікум; вул. Котельниківська, 3, м.Харків, 61051, Україна.

В статті розглянуті питання визначення максимального кута відхилення канату, який набігає на канатний блок. Довговічність канату в значній мірі визначається в залежності від кута відхилення, тому, що канат може переломлюватися на краю ручія.

При вирішенні задачі визначення граничного кута відхилення канату на блоці або барабані виходять з умови, що канат залишає канавку або входить в канавку повільно і не отримує перелому на гребні. Дослідження, яке проведено в статті дало змогу отримати уточнене значення граничних значень кута відхилення канату в залежності від геометричних і жорсткісних параметрів канату і блоку.

Ключові слова: канат, блок, кут відхилення, барабан, напруження, натягнення, жорсткість, довговічність, згин.

Фидровская Н.Н., Писарцов А.С., Водолажский В.П. «Определение максимального угла отклонения каната набегающего на блок».

В статье рассмотрены вопросы определения максимального угла отклонения каната, набегающего на блок. Долговечность каната в значительной степени определяется в зависимости от угла отклонения, потому, что канат может преломляться на краю ручья.

При решении определения предельного угла отклонения каната на блоке или барабане выходят из условия, что канат оставляет канавку или входит в канавку плавно и не имеет перелома на гребне. Исследование, которое проведено в статье, дает возможность получить более точное значение угла отклонения каната в зависимости от геометрических и жесткостных параметров каната и барабана.

Ключевые слова: канат, блок, угол отклонения, барабан, напряжение, натяжение, жесткость, долговечность, изгиб.

Fidrovskaya N., Piszarzov A., Vodolagsky V. «Definition of maximum angle deflexion of rope which raid on the block».

In this article it is considered questions definition of maximum angle deflexion of rope which raid on the block. Lasting of rope considerable definition in dependence from angle deflexion because the rope can be refracted on border of block.

In the time of decision definition limit of angle deflexion of rope on block or drum proceed from condition what the rope leave ditch or come in ditch flowing and not have fracture on crest. Research which conduct in article give possibility to receive more exact importance of angle deflexion rope in dependence from geometrical and hard index of rope and drum.

Key words: rope, angle deflection, drum, strain, stretch, hard, period work, crock.

1. Постановка проблеми

Строк служби канату залежить від його конструкції, властивостей дроту, умов експлуатації, від відповідності властивостей канату його роботі на конкретній машині. В залежності від умов роботи строк служби канату коливається від декількох тижнів до кількох років. Як показує практика і експерименти багатьох авторів руйнування дротинок відбувається в місцях контакту дротинок між собою, а також контакту канату і поверхні блоку або барабану, де до напружень розтягнення, згину і кручення додаються ще й контактні напруження.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

При навиванні канату на барабан або при перегині канату на блоках поліспаств виникає відхилення канатів від площини обертання блоків. При збільшенні кутів відхилення можуть виникнути дуже негативні моменти, викликані тим, що відхилений канат сковзає по борту ручія блока, при цьому знушується сам і приводить до зносу ручія блока. Із збільшенням кута відхилення збільшується контактна лінія канату з бортом ручія блока і відносна швидкість зміщення канату. Кути відхилення обмежуються з урахуванням відношення D/d , де D – діаметр блоку, d – діаметр канату і режиму роботи підйомного механізму.

При відхиленні канату на барабані необхідно враховувати і можливість перескакування канату в іншу канавку і зломі канату на гребні канавки. Цим питання були присвячені роботи Унольда [1], Маттиаса [2] і Б.С.Ковальського [3, 4].

3. Виклад основного матеріалу

Рівняння пружної лінії, яка виникає при огинанні канатів блоків, які відстоять один від одного на відстані $2a$ (рис. 1 а) [3]

$$y = \frac{ltga}{|l - thl|} e^{thl} l(chl x - 1) - shl x + l x^2, \quad (1)$$

$$\text{де } l = \sqrt{\frac{T}{B}} = \frac{1}{kd},$$

T – напруження канату, $T = Fs = cd^2s$,

B – жорсткість канату при згинанні, $B = eEI$,

F – площа канату, c – коефіцієнт заповнення канату, s – напруження в канаті,

κ – постійна для канатів визначеної конструкції [3].

З рис.1 а отримаємо рівняння

$$\frac{\partial D}{\partial z} + z \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \kappa^2 \quad (2)$$

Рішення рівняння (2) буде мати вигляд

$$z_{1,2} = -\frac{D}{2} \pm \sqrt{\frac{D^2}{4} + \kappa^2} \quad (3)$$

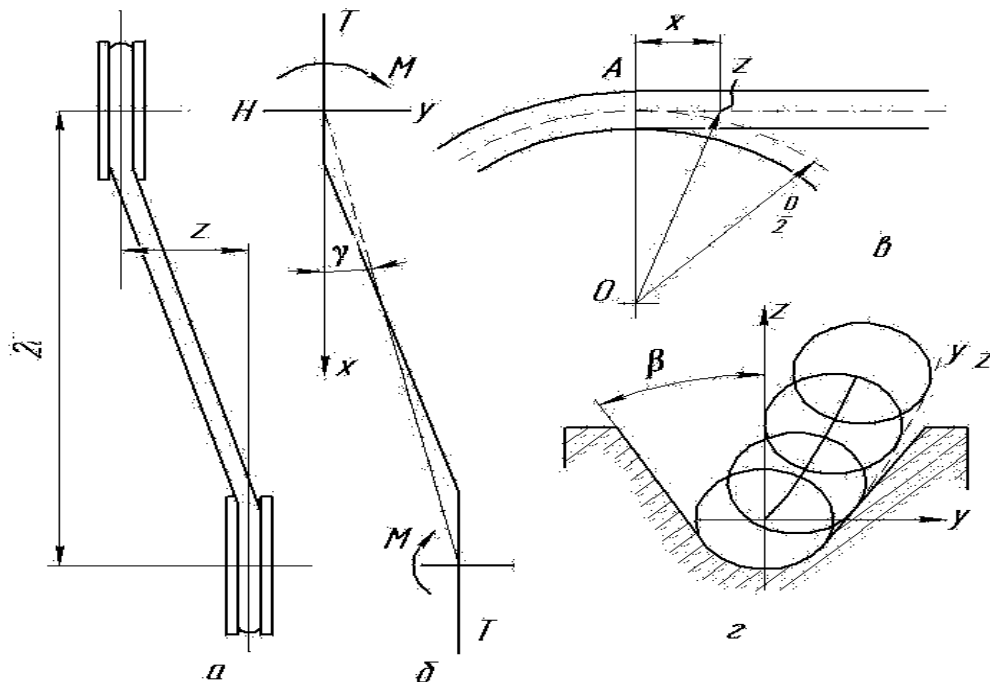


Рис.1 Згин пружного канату

Рівняння (2) і (3) можуть допомогти визначити криву пересувань центрів перетину канатів (рис. 1 а,б) при зміщенні їх в площині ОА. Крива, яка огинає ці точки може бути записана двома рівняннями

$$Z = z - \frac{d}{2} \frac{y\zeta}{\sqrt{y\zeta + z\zeta}}, \quad Y = y + \frac{d}{2} \frac{z\zeta}{\sqrt{y\zeta + z\zeta}}. \quad (4)$$

Представимо гіперболічні синус і косинус у вигляді

$$\operatorname{sh} wx = \frac{1}{2}(e^{wx} - e^{-wx}), \quad \operatorname{ch} wx = \frac{1}{2}(e^{wx} + e^{-wx})$$

Тоді

$$\operatorname{th} wl = \frac{e^{wl} - e^{-wl}}{e^{wl} + e^{-wl}}.$$

Підставляємо ці вирази у формулу (1) і отримаємо

$$y = \frac{ltg\theta}{wl - \frac{e^{wl} - e^{-wl}}{e^{wl} + e^{-wl}}} \left(\frac{e^{wl} - e^{-wl}}{e^{wl} + e^{-wl}} \right) \frac{e^1}{e^2} - 1 \frac{\ddot{y}}{g} - \frac{1}{2} (e^{wx} + e^{-wx}) (e^{wx} - e^{-wx}) - wx \ddot{y}$$

Граничне значення кута θ знаходимо із умови, коли зігнутий канат не буде торкатися ручія блока, при цьому

$$\begin{aligned} tgb \frac{\ddot{y}}{g} &= \frac{\ddot{y}}{g} = \\ &= \frac{4x(wl - thwl)}{ltg\theta \sqrt{\frac{D^2}{4} + x^2} + thwl(e^{wx} - e^{-wx}) - e^{wx} - e^{-wx} + 2\ddot{y}} = \\ &= \frac{4(wl - thwl)}{ltg\theta} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{4x}{\sqrt{\frac{D^2}{4} + x^2} + thwl(e^{wx} - e^{-wx}) - e^{wx} - e^{-wx} + 2\ddot{y}} = \\ &= \frac{4(wl - thwl)}{Dwtg\theta} \end{aligned} \quad (5)$$

Тоді отримуємо

$$tg\theta = \frac{4(wl - thwl)}{Dwtgb} \quad (6)$$

Якщо ми можемо допустити прилягання канату до борту блока на довжині c , то максимальний кут визначиться за формулою

$$tg\theta = \frac{4(wl - thwl)}{Dwtgb} + tg\varphi, \quad (7)$$

де $tg\varphi$ - кут повороту в місці відриву його від поверхні блоку (рис. 1 в,г).

Запишемо рівняння поверхні ручія блоку

$$u^2 + v^2 = t^2 ctg^2 b$$

Якщо провести перетин конусу площиною

$$u = a = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} \sin b,$$

то отримаємо рівняння кривої, яка являється геометричним місцем точок можливого контакту каната і блока

$$t = tgb \sqrt{a^2 + v^2}.$$

Тоді

$$tg\varphi = \frac{\ddot{y}}{g} = \frac{vtgb}{\sqrt{a^2 + v^2}} = \frac{ctgb}{\sqrt{a^2 + c^2}} = \frac{ctgb}{\sqrt{\left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \sin b\right)^2 + c^2}} \quad (8)$$

Максимальне значення кута θ визначається з умови відсутності перелому канату на краю борту ручія

$$c_{\max} = \sqrt{(a+h)^2 - a^2} = \sqrt{h(D - d \sin b + h)} \quad (9)$$

Проведемо розрахунок по отриманим формулам. Приймаємо $h=d$ і результати розрахунків представлені на рис. 2.

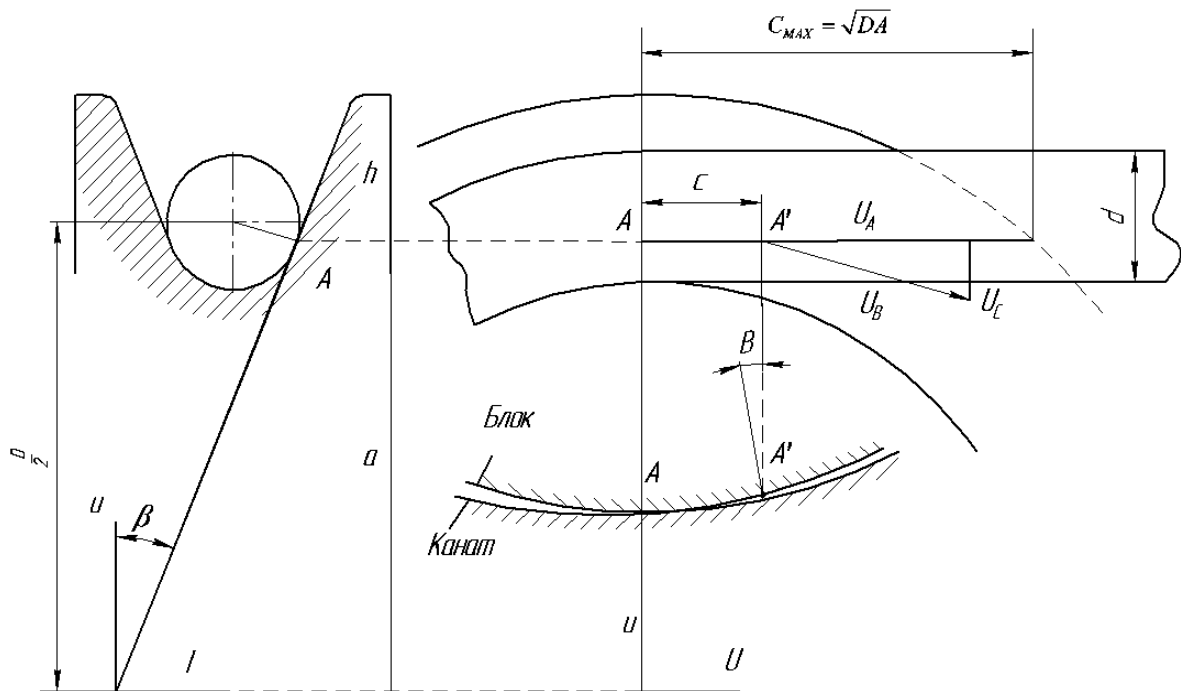


Рис 2. Відхилення канату на блоці

Висновки

Запропонована конструкція тупикового упору має підвищити надійність захисних систем кранів мостового типу у кінцевих ділянках колії, а використання цього пристрою дозволить надійно та безпечно зупиняти вантажопідіймальні крани в аварійних ситуаціях.

Список використаних джерел:

1. Ernst H. Die Hebezeuge. Bd. 2. / H. Ernst. – 1959.
2. Matthias K. Zur Seilablenkung an Seltrommeln, Hebezeuge und Fordermitet / K. Matthias. – Berlin, 1966. – 258с.
3. Ковальский Б. С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. – Харьков : ХВКИУ, 1969. – 164с.
4. Ковальский Б. С. Отклонение канатов на блоках и барабанах / Б. С. Ковальский, А. М. Циприн // Информационные материалы ВНИИПТМАШ. – 1953. – № 263. – С. 9–17

References

1. Ernst, H 1959, *Die Hebezeuge*, Bd. 2.
2. Matthias, K 1966, *Zur Seilablenkung an Seltrommeln, Hebezeuge und Fordermitet*, Berlin. p. 258.
3. Kovalskij, BS & Kozhin, SV 1969, *Barabany gruzopodemnyh mashin*, Harkovskoe vysshee komandno-inzhenerne uchilishhe, Harkov, p. 164.
4. Kovalskij, BS & Ciprin, AM 1953, 'Otklonenie kanatov na blokah i barabanah', *Informacionnye materialy VNIPTMASH*, no. 263, pp. 9–17.

Стаття надійшла до редакції 15 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-27

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

© Новиков Ф. В., Дитиненко С. А.

*Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця***Інформація про авторів:**

Новіков Федір Васильович – ORCID: 0000-0001-6996-3356; fokusnic1@rambler.ru ; доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, пр. Науки, 9-А, м. Харьков, 61166, Украина

Дитиненко Станіслав Олександрович – ORCID: 0000-0001-5382-2276; fokusnic1@rambler.ru ; кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, пр. Науки, 9-А, м. Харьков, 61166, Украина

Теоретично і експериментально обґрунтовано нові технологічні можливості ефективного застосування алмазно-іскрового шліфування при обробці матеріалів підвищеної твердості, які полягають в реалізації високопродуктивних схем глибинного шліфування з невеликою швидкістю деталі й багатопрохідного шліфування зі збільшеною швидкістю деталі, близькою до швидкості круга. Теоретично показано, що основною умовою суттєвого підвищення продуктивності обробки є підтримка на робочій поверхні алмазного круга на металевій зв'язці високої гостроти ріжучих зерен. Встановлено, що для ефективного здійснення алмазно-іскрового шліфування необхідно реалізувати умову мінімуму відносної витрати алмазу, що визначається оптимальним розміром лінійного зносу зерен до моменту їх об'ємного руйнування або випадіння зі зв'язки круга без руйнування. Показано, що для зменшення висот мікронерівностей на оброблюваній поверхні до значення $Ra = 0,1$ мкм необхідно на робочій поверхні алмазного круга штучно створювати плосковершинні зерна, використовуючи алмазно-іскрове шліфування, а потім шліфування алмазним олівцем. Теоретичні рішення підтверджено експериментально та впроваджено у виробництво.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування; алмазний круг; металева зв'язка; глибинне шліфування; плосковершинні зерна; продуктивність обробки; якість обробки.

Новиков Ф. В., Дитиненко С. А. «Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования».

Теоретически и экспериментально обоснованы новые технологические возможности эффективного применения алмазно-искрового шлифования при обработке материалов повышенной твердости, состоящие в реализации высокопроизводительных схем глубинного шлифования с небольшой скоростью детали и многопроходного шлифования с увеличенной скоростью детали, близкой к скорости круга. Теоретически показано, что основным условием существенного повышения производительности обработки является поддержание на рабочей поверхности алмазного круга на металлической связке высокой остроты режущих зерен. Установлено, что для эффективного осуществления алмазно-искрового шлифования необходимо реализовать условие минимума относительного расхода алмаза, определяемого оптимальной величиной линейного износа зерен до момента их объемного разрушения или выпадения из связки круга без разрушения. Показано, что для уменьшения высот

микронеровностей на обрабатываемой поверхности до значения $Ra=0,1$ мкм необходимо на рабочей поверхности алмазного круга искусственно создавать плосковершинные зерна, используя алмазно-искровое шлифование, а затем шлифование алмазным карандашом. Теоретические решения подтверждены экспериментально и внедрены в производство.

Ключевые слова: режущий инструмент; композитные материалы; формообразование; механическая обработка; твердосплавный инструмент.

Novikov F., Ditinenko S. «Improving the efficiency of diamond spark grinding».

Theoretically and experimentally substantiated the new technological possibilities for the effective application of diamond-spark grinding when processing materials of increased hardness, which consist in the implementation of high-performance deep grinding schemes with a low part speed and multi-pass grinding with an increased part speed close to the speed of a circle. It is theoretically shown that the main condition for a significant increase in processing performance is to maintain a high sharpness of the cutting grains on the working surface of the diamond wheel on the metal binder. It has been established that for the effective implementation of diamond-spark grinding, it is necessary to realize the condition of minimum relative diamond consumption, determined by the optimal linear wear of the grains until the moment of their volume destruction or falling out of the bond of the circle without destruction. It is shown that in order to reduce the micron roughness heights on the treated surface to a value of $Ra = 0.1 \mu m$, it is necessary to artificially create flat-top grains on the working surface of the diamond wheel using diamond spark grinding and then grinding with a diamond pencil. Theoretical solutions are confirmed experimentally and introduced into production.

Key words: diamond spark grinding; diamond wheel; metal bond; deep grinding; flat grain; processing performance; processing quality.

1. Постановка проблемы.

Традиционно основным методом обработки материалов повышенной твердости является шлифование алмазными кругами на металлических связках. Это относится к обработке различных металлических и неметаллических материалов: твердых сплавов, керамических материалов, стекла и хрусталя, природных и искусственных алмазов. Однако при этом постоянно возникает сложная проблема восстановления режущей способности алмазного круга, который при шлифовании быстро затупляется и засаливается. Применение методов его механической правки, как показывает практика, малоэффективна, поскольку не удастся качественно вскрыть алмазоносный слой круга. Наиболее эффективными оказались методы электроэрозионной и электрохимической правки, основанные на непрерывном или периодическом введении в зону резания или автономно к алмазному кругу дополнительной электрической энергии, обеспечивающей электроэрозионное разрушение и электрохимическое растворение металлической связки. Особенно эффективен метод алмазно-искрового шлифования (АИШ), разработанный в Харьковском политехническом институте группой ученых под руководством докт. техн. наук, профессора Беззубенко Н. К. Наряду с высокой эффективностью электроэрозионной правки алмазного круга на металлической связке, этот метод обес-

печивает предразрушение поверхностного слоя обрабатываемого материала, что облегчает процесс резания и повышает производительность и качество обработки. Метод получил широкое применение на практике, однако требует дальнейшего развития с точки зрения выбора оптимальных условий обработки материалов повышенной твердости.

2. Анализ последних исследований и публикаций.

В работах [1; 2] всесторонне теоретически и экспериментально обоснованы технологические возможности АИШ и даны практические рекомендации по его эффективному применению. По результатам исследований АИШ защищены кандидатские и докторские диссертации [3–5], что указывает на перспективность его применения. Вместе с тем, технологические возможности АИШ на практике используются далеко не полностью, что требует проведения дальнейших исследований, главным образом, с точки зрения оптимизации параметров режима резания и выбора оптимальных схем шлифования.

3. Цель исследования – обоснование новых технологических возможностей алмазно-искрового шлифования при обработке материалов повышенной твердости.

4. Основное содержание.

В работе [6] показано, что максимально возможная производительность обработки $Q = B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t$ при алмазном шлифовании определяется аналитической зависимостью:

$$Q = \frac{tg g \times m \times V_{\text{кр}} \times B \times (1 - h)}{600 \times \pi \times \bar{X}^3} \times \sqrt{\frac{t}{2 \times r}} \times \frac{P_{y1}}{s_{\text{сж}} \times \sigma^{1,5}}, \quad (1)$$

где B – ширина шлифования, м; $V_{\text{дет}}$, $V_{\text{кр}}$ – скорости детали и круга, м/с; t – глубина шлифования, м; g – половина угла при вершине режущего конусообразного зерна; $\bar{X}$ – зернистость круга, м; m – объемная концентрация зерен круга; $r = 1/R_{\text{дет}} + 1/R_{\text{кр}}$; $R_{\text{дет}}$, $R_{\text{кр}}$ – радиусы детали и круга, м; P_{y1} – радиальная составляющая силы резания, действующая на зерно, Н; $s_{\text{сж}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²; h – безразмерный коэффициент, определяющий степень остроты режущего рельефа алмазного круга ($h \approx 0$ – для острых зерен, $h \approx 1$ – для затупленных зерен).

Наряду с традиционными параметрами B , $V_{\text{дет}}$, $V_{\text{кр}}$, $\bar{X}$, m , $R_{\text{дет}}$, $R_{\text{кр}}$, P_{y1} , $s_{\text{сж}}$ зависимость (1) содержит новый безразмерный коэффициент h . При высокой остроте режущего рельефа, т.е. при условии $h \approx 0$, можно добиться существенного повышения производительности обработки. Собственно этим и объясняется эффективность применения АИШ – за счет непрерывного электроэрозионного воздействия на металлическую связку алмазного круга и непрерывного обновления его режущего рельефа (своевременного удаления зату-

пившихся алмазных зерен из металлической связки круга) можно обеспечить выполнение условия $h \geq 0$. Другими методами правки круга реализовать это условие невозможно.

Следует отметить, что кроме поддержания на рабочей поверхности круга высокой остроты режущего рельефа, данный метод шлифования фактически исключает трение металлической связки алмазного круга с обрабатываемым материалом – основного источника высокой энергоемкости обработки и, соответственно, высоких значений силы и температуры резания. Это позволяет дополнительно повысить производительность и качество обработки, исключить образование температурных дефектов на обрабатываемой поверхности.

Экспериментально установлено [6], что обеспечение высокой остроты режущего рельефа алмазного круга приводит к его повышенному износу. Это также вытекает из аналитической зависимости для определения относительного расхода алмаза:

$$q = \frac{10^{-3} \times r_a \times a \times D_i \times V_{кр}}{r_m \times V_{дет} \times h}, \quad (2)$$

где r_a , r_m – плотности алмаза и обрабатываемого материала, кг/м³; D_i – линейный износ зерна за одно касание с материалом, м; a – коэффициент, учитывающий плотность связки круга в зависимости от концентрации алмазных зерен.

Как следует из зависимости (2), при условии $h \geq 0$ относительный расход алмаза $q \geq 0$. Естественно, для эффективного осуществления АИШ необходимо увеличить значение h . Расчетами установлено, что существует экстремальное значение $h_{экстр} = 0,88$, при котором относительный расход алмаза принимает минимальное значение. С физической точки зрения условие минимума относительного расхода алмаза обусловлено существованием оптимальной величины линейного износа зерен до момента их объемного разрушения или выпадения из связки круга без разрушения. Исходя из сказанного, в зависимости (1) следует принять $h = 0,88$, а расчет скорости детали $V_{дет}$ производить по аналитической зависимости:

$$V_{дет} = \frac{Q}{B \times \pi} = \frac{tg \alpha \times m \times V_{кр} \times (1 - h)}{600 \times \pi \times X^3} \times \sqrt{\frac{1}{2 \times \pi}} \times \frac{P_{y1}}{2 \times \sigma_{сж}}^{1,5}. \quad (3)$$

Из зависимостей (1) и (3) также вытекает возможность существенного повышения производительности обработки за счет применения глубинного продольного алмазного шлифования с небольшой скоростью детали $V_{дет}$ и шириной шлифования B , равной или близкой к высоте круга. Как правило, реализовать эту схему шлифования в обычных условиях затруднено в связи с увеличением силы и температуры резания. Однако, применяя АИШ и непрерывно поддерживая высокую режущую способность алмазного круга, появляется возможность практической реализации данной схемы шлифования. Это доказано многолетней практикой ее применения на разных технологических операциях, включая шлифование твердосплавных инструментов, изделий с высокопрочными наплавленными материалами и т.д.

Профессор Беззубенко Н. К. в своих работах [1, 2] неоднократно указывал на эффективность применения АИШ с увеличенной скоростью детали $V_{дет}$ (до значения скорости круга $V_{кр}$) и небольшой глубиной шлифования t . В работе [6] теоретически обоснована правомочность этой схемы многопроходного шлифования. Расчетами установлено, что с увеличением глубины шлифования t при соответствующем уменьшении скорости детали $V_{дет}$ (при фиксированной площади поперечного сечения среза) производительность обработки первоначально уменьшается, а затем увеличивается, проходя точку минимума, в которой, как доказано теоретически, глубина шлифования принимает значение, близкое к максимальной толщине среза (рис. 1).

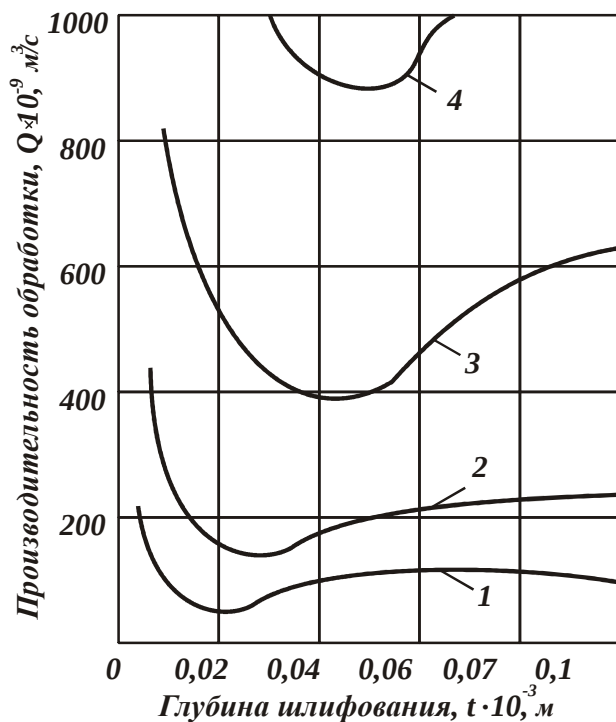


Рис. 1 – Зависимость производительности обработки Q от глубины шлифования t для заданных значений фиксированной (предельной) площади поперечного сечения среза S : $m = 100$; $\bar{X} = 0,2 \cdot 10^{-3} м$; $B = 22,5 \cdot 10^{-3} м$; $r = 17 м^{-1}$; $V_{кр} = 30 м/с$; 1 – $S = 400 мкм^2$; 2 – $S = 900 мкм^2$; 3 – $S = 1600 мкм^2$; 4 – $S = 2500 мкм^2$

существенное уменьшение шероховатости обработанной поверхности при шлифовании до значения $Ra = 0,1 мкм$. В этом случае алмазный круг для качественного вскрытия алмазносного слоя подвергают электроэрозионной правке. Затем в процессе шлифования алмазного карандаша производится срез острых вершин алмазных зерен круга. В результате образуются плосковершинные зерна, шлифование которыми резко уменьшает высоту микронеровностей на обработанной поверхности, особенно при шлифовании твердосплавных изделий. Разработанный высокоэффективный технологический процесс шлифования алмазными кругами с плосковершинными зернами внедрен в инструментальное производство ГП ХМЗ

Следовательно, важным условием повышения производительности обработки является применение многопроходного шлифования с увеличенной скоростью детали $V_{дет}$ (близкой к скорости круга $V_{кр}$) и применение глубинного шлифования с относительно небольшой скоростью детали $V_{дет}$. Однако для практической реализации этих схем шлифования алмазными кругами на металлической связке необходимо применение АИШ, обеспечивающего непрерывное поддержание высокой остроты алмазного круга и снижение энергоемкости обработки, силы и температуры резания. Новым направлением эффективного применения АИШ следует рассматривать подготовку алмазного круга на металлической связке для создания на его рабочей поверхности плосковершинных зерен [7], обеспечивающих

«ФЭД» на операциях шлифования твердосплавных инструментов, что позволило повысить качество обработки и исключить в ряде случаев последующую трудоемкую операцию притирки алмазным порошком.

Выводы

Определены условия повышения производительности обработки при алмазно-искровом шлифовании, состоящие в применении высокопроизводительных схем глубинного шлифования с небольшой скоростью детали и многопроходного шлифования с увеличенной скоростью детали, близкой к скорости круга. Показано, что для эффективного осуществления алмазно-искрового шлифования необходимо реализовать условие минимума относительного расхода алмаза. Установлено, что уменьшить параметр шероховатости поверхности до значения $Ra=0,1$ мкм при шлифовании можно созданием на рабочей поверхности алмазного круга плосковершинных зерен, используя первоначально алмазно-искровое шлифование, а затем шлифование алмазным карандашом.

Список використаних джерел:

1. Беззубенко Н. К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.03.01 "Процессы механической обработки, станки и инструменты" / Н. К. Беззубенко. – Харьков : Харьк. гос. техн. ун-т, 1995. – 56 с.
2. Беззубенко Н. К. К вопросу выбора режима работы режущих зерен при алмазно-искровом шлифовании / Н. К. Беззубенко // Резание и инструмент. – 1979. – Вып. 22. – С. 3-6.
3. Новиков Г. В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: спец.: 05.02.08 "Технология машиностроения" / Г. В. Новиков. – Харьков : ХПИ, 1989. – 210 с.
4. Фадеев В. А. Алмазное шлифование твердых сплавов с введением в зону резания дополнительной энергии постоянного тока: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец.: 05.03.01 "Процессы механической обработки, станки и инструменты" / В. А. Фадеев; Харьк. гос. техн. ун-т. – Харьков, 1995. – 21 с.
5. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2003. – 359 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 Т. / Под общ. ред. Ф. В. Новикова, А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2002. – Т. 1. "Механика резания материалов". – 580 с.
7. Технологии производства: проблемы и решения : монография / Ф. В. Новиков [и др.]. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 536 с.

References

1. Bezzubenko, NK 1995, 'Povyshenie jeffektivnosti almaznogo shlifovaniya putem vvedeniya v zonu obrabotki dopolnitel'noj jenerгии v forme jelektricheskikh razrjadov', Doct.tecn.n. abstract, Harkovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Harkov.
2. Bezzubenko, NK 1979, 'K voprosu vybora rezhima raboty rezhushhix zeren pri almazno-iskrovom shlifovanii', *Rezanie i instrument*, iss. 22, pp. 3-6.
3. Novikov, GV 1989, 'Povyshenie jeffektivnosti almazno-iskrovogo shlifovaniya detalej s vysokoprochnymi pokrytijami', Kand.tecn.n. thesis, Harkovskij politehničeskij institut, Harkov.
4. Fadeev, VA 1995, 'Almaznoe shlifovanie tverdyh splavov s vvedeniem v zonu rezaniya dopolnitel'noj jenerгии postojannogo toka', Kand.tecn.n. abstract, Harkovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Harkov.
5. Uzunjan, MD 2003, *Almazno-iskrovoe shlifovanie tverdyh splavov*, Nacionalnyj tehničeskij universitet Harkovskij politehničeskij institut, Harkov.
6. Novikov, FV & Jakimov, AV (eds.) 2002, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija*, vol. 1 *Mehanika rezaniya materialov*, Odesskij nacionalnyj politehničeskij universitet, Odessa.
7. Novikov, FV, Zhovtobryukh, VA, Ditinenko, SA, Kryuk, AG, Savchenko, NF, Shkurupiy, VG, Polyanskiy, VI, Ryabenkov, IA & Novikov, DF 2018, *Tehnologii proizvodstva: problemy i reshenija*, LIRA, Dnepr.

Стаття надійшла до редакції 17 жовтня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-28-33

УДК 621.923

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

©Полянский В. И.

НПО «Империя металлов»

Інформація про автора:

Полянський Володимир Іванович: ORCID: 0000-0001-54482-9955; fokusnic1@rambler.ru; кандидат технічних наук, Генеральний директор, НВО «Імперія металів», Григорівське шосе, 88, м. Харків, 61020, Україна

Теоретично визначено основні умови суттєвого підвищення продуктивності механічної обробки, які полягають в зменшенні умовного напруження різання (енергоємності обробки) до значення, при якому розрахункова максимальна температура різання стає менше температури плавлення оброблюваного матеріалу і з'являється можливість значного збільшення швидкості різання фактично без збільшення температури різання. Показано, що основними умовами зменшення енергоємності лезової обробки є застосування інструментів з синтетичних надтвердих матеріалів і збірних твердосплавних або керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями, що характеризуються високою гостротою ріжучих лез і низьким коефіцієнтом тертя з оброблюваним матеріалом, а при шліфуванні – зменшенням інтенсивності тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Експериментально встановлено, що застосування ріжучого інструменту зі зносостійким покриттям зарубіжного виробництва на операції свердління дозволило в 2 рази підвищити продуктивність обробки при забезпеченні високої якості оброблюваної поверхні.

Ключові слова: механічна обробка; шліфування; температура різання; умовне напруження різання; продуктивність обробки; інтенсивність тертя.

Полянский В. И. «Эффективное применение современных технологий механической обработки».

Теоретически определены основные условия существенного повышения производительности механической обработки, состоящие в уменьшении условного напряжения резания (энергоемкости обработки) до значения, при котором расчетная максимальная температура резания становится меньше температуры плавления обрабатываемого материала и появляется возможность значительного увеличения скорости резания фактически без увеличения температуры резания. Показано, что основными условиями уменьшения энергоемкости лезвийной обработки является применение инструментов из синтетических сверхтвердых материалов и сборных твердосплавных или керамических инструментов с износостойкими покрытиями, характеризующихся высокой остротой режущих лезвий и низким коэффициентом трения с обрабатываемым материалом, а при шлифовании - уменьшением интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом. Экспериментально установлено, что применение режущего инструмента с износостойким покрытием зарубежного производства

на операции сверления позволило в 2 раза повысить производительность обработки при обеспечении высокого качества обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: механическая обработка; шлифование; температура резания; условное напряжение резания; производительность обработки; интенсивность трения.

Polyansky V. «Effective application of modern technologies of mechanical processin».

Theoretically, the basic conditions for a significant increase in machining performance are defined, consisting in reducing the conditional cutting voltage (processing power) to a value at which the calculated maximum cutting temperature becomes less than the melting temperature of the material being processed and there is a possibility of a significant increase in cutting speed without increasing the cutting temperature. It is shown that the main conditions for reducing the energy intensity of blade processing is the use of tools from synthetic superhard materials and prefabricated carbide or ceramic tools with wear-resistant coatings, characterized by high sharpness of cutting blades and low coefficient of friction with the material being processed, and when grinding - reducing the intensity of friction of the circle bundle with the processed material. It was established experimentally that the use of cutting tools with a wear-resistant coating of foreign production at the drilling operation made it possible to increase the processing performance by a factor of 2 while ensuring the high quality of the surface being treated.

Key words: machining; grinding; cutting temperature; conditional cutting stress; processing performance; friction intensity.

1. Постановка проблемы.

Применение современных сборных режущих лезвийных твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства открыло широкие перспективы повышения производительности и качества обработки деталей, изготовленных из материалов с повышенными физико-механическими свойствами. В связи с этим в настоящее время на машиностроительных предприятиях Украины происходит техническое перевооружение производства новыми технологиями механической обработки, оборудованием и режущими инструментами. В результате изготавливаемая продукция по качеству и себестоимости становится вполне конкурентоспособной на экономических рынках. Однако для этого необходимо использовать режущие инструменты, максимально реализуя их технологические возможности путем правильного выбора оптимальных условий обработки включая параметры режима резания и характеристики режущего инструмента. Поэтому настоящая работа посвящена разработке практических рекомендаций по повышению эффективности применения современных режущих инструментов.

2. Анализ последних исследований и публикаций.

Вопросам применения современных технологий механической обработки, оборудования и режущих инструментов зарубежного производства посвящены работы [1-3], в которых

обоснованы оптимальные режимы резания, обеспечивающие повышение производительности и качества обработки. Приведены теоретические решения [2], определяющие условия снижения силовой и тепловой напряженностей механической обработки. Однако при этом недостаточно внимания уделено связи условий снижения силы и температуры резания с практикой осуществления высокопроизводительной и высококачественной механической обработкой.

3. Цель исследования – теоретически обосновать и практически реализовать новые технологические возможности высокоэффективной механической обработки с применением современных режущих инструментов.

4. Основной материал

В работах [2; 4] теоретически установлено, что с увеличением скорости резания V температура резания q непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к максимальному значению (рис. 1):

$$q = \frac{S}{c \gamma}, \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К);

γ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³;

$S = P_z / S$ – условное напряжение резания, Н/м²;

P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

S – площадь поперечного сечения среза, м².

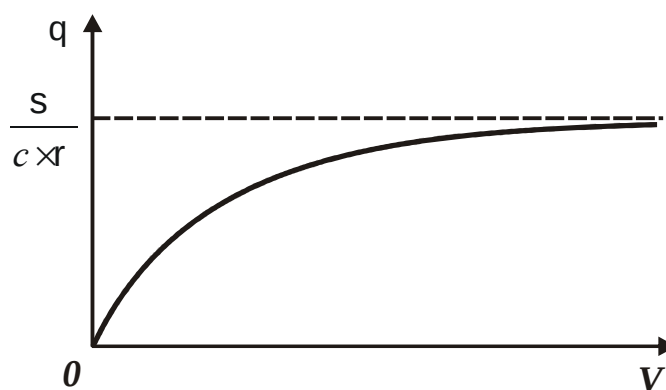


Рис. 1 – Зависимость температуры резания q от скорости резания V

Из этого вытекает, что при условии достижения максимальной температурой резания q значения, меньшего температуры плавления обрабатываемого материала, скорость резания V и соответственно производительность обработки Q могут быть существенно увеличены. В этом случае температура резания q не является ограничением увеличения скорости

резания V и производительности обработки Q . Однако для выполнения данного условия следует добиться необходимого уменьшения условного напряжения резания S , определяющего температуру резания Q .

Физическая суть графика, показанного на рис. 1, состоит в том, что с увеличением скорости резания V доля возникающего при резании тепла, уходящего в поверхностный слой обрабатываемой детали, уменьшается, а доля тепла, уходящего в образующуюся стружку при точении (или в образующиеся стружки при шлифовании), увеличивается. При условии полного перехода выделяющегося при резании тепла в образующуюся стружку температура резания Q принимает максимальное значение, определяемое зависимостью (1).

В работе [2] показано, что температура резания Q связана с энергоемкостью обработки A аналитической зависимостью:

$$q = \frac{A}{c \tau}. \quad (2)$$

Как видно, при механической обработке зависимости (1) и (2) идентичны, если рассматривать в качестве энергоемкости обработки A условное напряжение резания S . Размерность энергоемкости обработки ($\text{Дж/м}^3 = \text{Н/м}^2$) соответствует размерности условного напряжения резания S . Расчетно-экспериментальным путем установлено [2], что условное напряжение резания S всегда больше предела прочности на сжатие обрабатываемого материала $S_{сж}$. При лезвийной обработке – $1 < S / S_{сж} < 10$, а при шлифовании – $1 < S / S_{сж} < 100$, т.е. при шлифовании в связи с интенсивным трением связки круга с обрабатываемым материалом условное напряжение резания S принимает большие значения, чем при точении.

С физической точки зрения условие $S > S_{сж}$ при точении обусловлено тем, что в знаменатель зависимости для определения условного напряжения резания $S = P_z / S$ входит площадь поперечного сечения среза S , которая меньше фактической площади контакта образующейся стружки с передней поверхностью инструмента $S_{конт}$, условно определяемой зависимостью: $S_{конт} = P_z / S_{сж}$.

Приведенные в табл. 1 расчетные значения температуры резания Q показывают, что для ее уменьшения (до приемлемого значения) необходимо уменьшить S до значения, близкого к пределу прочности на сжатие обрабатываемого материала $S_{сж}$. Однако выполнить данное условие достаточно сложно. Этим собственно и объясняется то, что при механической обработке температура резания Q достигает значений температуры плавления обрабатываемого материала, а это приводит к появлению на обрабатываемых поверхностях детали температурных дефектов (прижогов, микротрещин и т.д.). Особенно это относится к процессам шлифования материалов повышенной твердости, характеризующихся повышенной теплонапряженностью и низким качеством обрабатываемых поверхностей. Таким обра-

зом показано, что для уменьшения температуры резания Q необходимо уменьшать условное напряжение резания S , что является основным условием обеспечения высококачественной обработки деталей машин.

Таблица 1– Расчетные значения условного напряжения резания S при обработке

стали 45 ($c_{\text{ж}} = 5 \times 10^6$ Дж/(м³·град.) = 5 Н/(мм²·град.))

q , град.	100	300	600	900	1200	1500	1800	2000
$S \cdot 10^3$, Н/мм ²	0,5	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10

Как показывает практика, уменьшить S при точении можно обеспечением высокой остроты режущего лезвия инструмента, например, за счет применения инструментов из синтетических сверхтвердых материалов и с износостойкими покрытиями, позволяющих реализовать высокоскоростное резание, характеризующееся относительно низкими значениями S . Это направление является наиболее предпочтительным при использовании современных сборных лезвийных твердосплавных и керамических режущих инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства, поскольку позволяет одновременно уменьшить S и q .

При шлифовании уменьшить S можно, в первую очередь, за счет уменьшения интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом и осуществления резания острыми режущими зернами. Это достигается обеспечением режима интенсивного самозатачивания шлифовального круга, применяя высокопористые, импрегнированные и прерывистые круги [5], характеризующиеся высокой режущей способностью в процессе шлифования.

Зависимость для определения условного напряжения резания S имеет вид: $S = N / Q$ или $Q = N / S$, где N – мощность резания, Вт. Как видно, основным условием повышения производительности обработки Q при заданной мощности резания N является уменьшение S . При условии $S = S_{\text{сж}}$ можно реализовать максимально возможную производительность обработки. Однако, поскольку в реальных условиях механической обработки выполняется условие $S > S_{\text{сж}}$, то фактическая производительность обработки всегда меньше максимально возможной производительности обработки.

Теоретические решения подтверждены экспериментально. Так, применение сверла Ø33 мм (корпус сверла KSE250350390; режущая пластина SM565330, изготовленная из материала PREMIUM HSS M48 с износостойким покрытием TiAlN) производства компании YG1 (Корея) на операции глубокого сверления (с глубиной 220 мм и выходом на цилиндрическую поверхность детали из материала 09ГС2) показало его высокую работоспособность и позволило в 2 раза повысить производительность – основное время обработки отверстия составило 2 мин., а при существующей технологии – 4 мин. Частота вращения шпинделя 450 мм/мин., подача 0,33 мм/об, подача СОЖ производилась через державку в зону реза-

ния. В процессе резания имело место хорошее дробление и удаление стружки. Обработка детали (48 отверстий в ней) произведена за 96 мин. Стойкость режущей пластины составила 72 отверстия или 1,5 детали (144 минуты). Также применение данного инструмента позволило исключить из наладки операцию промежуточного сверления.

Выводы

Установлено, что основным условием существенного повышения производительности механической обработки является уменьшение условного напряжения резания (энергоёмкости обработки) до значения, при котором расчетная максимальная температура резания становится меньше температуры плавления обрабатываемого материала и появляется возможность значительного увеличения скорости резания. Реализовать это условие можно применением инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов и сборных твёрдосплавных инструментов с износостойкими покрытиями.

Список использованных источников:

1. Новиков Ф. В. Современные экологически безопасные технологии производства : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2017. – 372 с.
2. Новіков Ф. В. Фінішна обробка деталей різанням: монографія / Ф. В. Новіков, І. О. Рябенков. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 270 с.
3. Кленов О. С. Определение технологических возможностей современных режущих инструментов и методов механической обработки / О. С. Кленов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2017. – Вип. № 40. – С. 66-72.
3. Полянский В. И. Расчет температуры шлифования с учетом баланса тепла, уходящего в стружки и обрабатываемую деталь / В. И. Полянский // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Вип. 13. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – С. 51-59.
4. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. – 175 с.
5. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 343 с.

References

1. Novikov, FV, Zhovtobryuh, VA & Novikov, GV 2017, *Sovremennye jekologicheski bezopasnye tehnologii proizvodstva*, LIRA, Dnepr.
2. Novikov, FV, & Riabenkov, IO 2016, *Finishna obrobka detalei rizanniam*, Kharkivskiyi natsionalnyi ekonomichnyi universytet imeni Semena Kuznetsia, Kharkiv.
3. Klenov, OS 2014, 'Opredelenie tehnologicheskikh vozmozhnostej sovremennyh rezhushhih instrumentov i metodov mehanicheskoy obrabotki', *Nadiinist instrumentu ta optymizatsiia tekhnologichnykh system*, Kramatorsk, iss. 40, pp. 66-72.
4. Poljanskij, VI 2018, 'Raschet temperatury shlifovaniya s uchetom balansu tepla, uhodjashhego v struzhki i obrabatyvaemuju detal', *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiyi politekhnichnyi instytut, Kharkiv, iss. 13, pp. 51-59.
5. Jakimov, AV 1975, *Optimizacija processa shlifovaniya*, Mashinostroenie, Moskva.
6. Bobrov, VF 1975, *Osnovy teorii rezaniya metallov*, Mashinostroenie, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 12 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-34-40

УДК 621.914

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНИХ ФОРМОТВОРНИХ РУХІВ

©Скоркін А.О.¹, Кондратюк О.Л.¹, Старченко О.П.², Протопова А. С.¹

Українська інженерно-педагогічна академія¹

Харківський радіотехнічний технікум²

Інформація про авторів:

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-83414; Andromeda862@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; kondr20071@i.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Старченко Олена Павлівна: ORCID:0000-0002-7444-6668; Estarchenko79@gmail.com; заступник директора з навчальної роботи, Харківський радіотехнічний технікум, вул. Сумська 18/20, м. Харків, 61057, Україна

Протопова Анастасія Сергіївна: ORCID: 000-0002-5803-8146; Andromeda862@ukr.net; студентка факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій у виробництві і освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Для продукции современного машиностроения характерно усложнение конструкции деталей, включение в них поверхностей свободной формы. Прямое отражение это нашло и в производстве технологической оснастки, штампов, пресс-форм, литейных моделей и им подобных изделий. При обработке таких деталей снимаются большие объемы срезаемых слоев, связанные с получением сложных пространственных форм, в результате чего наблюдается снижение стойкости дорогостоящего инструмента, следовательно, снижение производительности процесса обработки. Повышение износостойкости режущих инструментов является одной из важных задач технологии машиностроения.

Для повышения эффективности обработки фрезерованием сложных фасонных поверхностей (СФП), применяются в основном методы, связанные с улучшением свойств инструментального материала, изменением состава и свойств поверхностного слоя инструмента, нанесением тонкопленочных покрытий, снижением шероховатости рабочих поверхностей и улучшением условий эксплуатации инструмента применением СОТС.

Одним из наиболее перспективных методов повышения стойкости инструмента является использование способов обработки, при которых движения инструмента нелинейно согласовывают таким образом, чтобы это приводило к постоянному смещению режущей кромки инструмента относительно поверхности резания.

Ключевые слова: ЧПУ, инструмент, фрезерования, проектирование, режущая кромка, механическая обработка.

Скоркін А.О., Кондратюк О.Л., Старченко О.П.,Протопова А.С. «Дослідження процесу обробки складних фасонних поверхонь на основі нелінійних формотворних рухів».

Для продукції сучасного машинобудування характерне ускладнення конструкції деталей, включення в них поверхонь вільної форми. Пряме відбиття це знайшло й у виробництві технологічного оснащення, штамів, прес-форм, ливарних моделей і їм подібних виробів. При

обробці таких деталей знімаються більші обсяги шарів, що зрізуються, пов'язані з одержанням складних просторових форм, у результаті чого спостерігається зниження стійкості дорогого інструмента, отже, зниження продуктивності процесу обробки. Підвищення зносостійкості різальних інструмент є однією з важливих завдань технології машинобудування.

Для підвищення ефективності обробки фрезеруванням складних фасонних поверхонь (СФП), застосовуються в основному методи, пов'язані з поліпшенням властивостей інструментального матеріалу, зміною складу й властивостей поверхневого шару інструмента, нанесенням тонкоплівкових покриттів, зниженням шорсткості робочих поверхонь і поліпшенням умов експлуатації інструмента застосуванням СОТС.

Одним з найбільш перспективних методів підвищення стійкості інструмента є використання способів обробки, при яких руху інструмента нелінійно погоджують таким чином, щоб це приводило до постійного зсуву різучої крайки інструмента щодо поверхні різання.

Ключові слова: ЧПУ, інструмент, фрезерування, проектування, різуча кромка, механічна обробка

Skorkin A., Kondratyuk O, Starchenko O, Protopopova A. «Investigation of the processing complex shaped surfaces on the basis of non-linear motion of the forming».

For products of modern engineering is characterized by the complexity of the design of parts, the inclusion in them of free-form surfaces. This is directly reflected in the production of tooling, dies, molds, casting models and similar products. When processing such parts, large volumes of cutting layers are removed, associated with obtaining complex spatial forms, resulting in a decrease in the durability of an expensive tool, hence a decrease in the productivity of the process. Improving the wear resistance of cutting tools is one of the important tasks of mechanical engineering technology.

To increase the milling efficiency of complex shaped surfaces (CSS), mainly methods are used to improve the properties of the tool material, change the composition and properties of the surface layer of the tool, apply thin film coatings, reduce the roughness of the working surfaces and improve the operating conditions of the tool using the coolant cutting system.

One of the most promising methods for increasing tool life is the use of processing methods in which tool movements are nonlinearly coordinated so that this leads to a constant displacement of the tool cutting edge relative to the cutting surface.

Key words: CNC, tool, milling, design, cutting edge, machining.

Вступ

У техніці знаходять широке застосування деталі з фасонними поверхнями.

Усе різноманіття фасонних поверхонь можна розділити на наступні типи:

- Фасонні поверхні обертання (рис. 1. а, б, в)
- Фасонні поверхні замкнутого криволінійного контуру із прямолінійної утворюючої (рис. 1., г). Вони є циліндричними поверхнями, обмеженими двома площинами (підставами). Від циліндричних поверхонь тіл обертання вони відрізняються тим, що їх прямої є замкнена крива, а не окружність.

- Фасонні поверхні незамкнутого контуру із криволінійної утворюючої й прямо- лінійної прямої або, навпаки, із прямолінійної утворюючої й криволінійної прямої (рис. 1., д) (наприклад, зуб фасонної фрези, фасонні пази й ін.).
- Просторово-складні фасонні поверхні. До цієї групи ставляться всі інші фасон- ні поверхні, що не ввійшли в попередні групи, наприклад поверхні лопаток турбін, кузовів автомобілів, пресформ і т.п. (рис. 1., е) [1-3] .

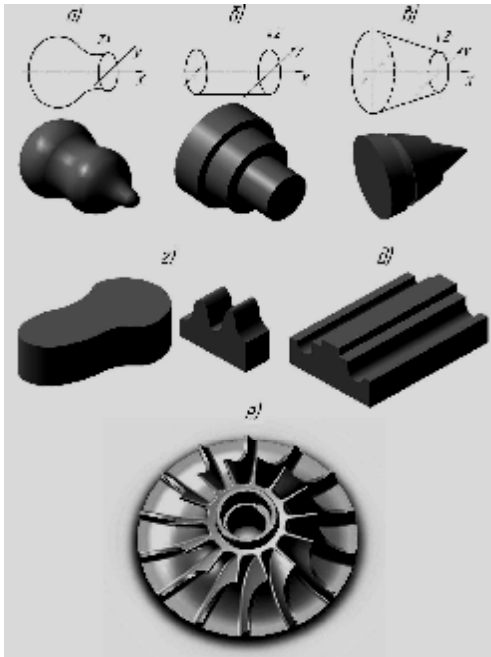


Рис. 1. - Класифікація фасонних поверхонь

Значне поширення деталей машин з фасонними поверхнями пояснюється тем обставиною, що така форма дозволяє одержувати деталі потрібної міцності при мінімальній вазі. До таких деталей відносяться частини: авіаційних двигунів, літаків, автомобілів, тракторів, мотоциклів, різних приладів, що пишуть машин, рушниць, верстатів- автоматів і т.д. Ковальські штампи, прес-форми, кокілі й інше оснащення, що мають складні фасонні поверхні. Немає майже жодної галузі машинобудування, де б не зустрічалися деталі з фасонними поверхнями. Фасонні поверхні можна виготовляти різними способами, наприклад, фрезеруванням дисковими, кінцевими (пальцевими), торцевими, циліндричними, фасонними фрезами [4], протяганням, гострінням, струганням, довбанням і т.п.

Найбільш універсальним способом одержання подібних поверхонь є їх лезвійна обробка дисковим інструментом, внаслідок використання більш простого оснащення й більш компактної установки на верстаті.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний момент існує безліч різних схем формоутворення фасонних поверхонь. Більшість цих схем поєднує те, що формоутворення забезпечується трьома погодженими ру- хами: обертальне (обробка дисковими інструментами) або возвратно- поступальне (струган- ня, протягання) рух різального інструменту; обертний рух оброблюваної заготовки; пого- джене з обертним рухом поступальне переміщення заготовки або інструмента уздовж осі фасонної поверхні. Виключення становить процес гостріння фасонних поверхонь, при якому різуче лезо урізається на всю глибину профілю.

Найбільш універсальним методом обробки складних фасонних поверхонь є фрезеру- вання. Сьогодні відома безліч різних схем формоутворення фасонних, у т.ч. гвинтових пове- рхонь [5], [7], [9].

Одним із сучасних методів обробки фасонних, є плунжерне фрезерування, яке суттє- во відрізняється від традиційного. Робота фрезерного інструмента з осьовою подачею, поді- бно свердлінню, забезпечує ефект, коли напрямок сил різання міняється з переважно радіа- льного на осьове. Плунжерне фрезерування схоже на операцію переривчастої токарської об-

робки. При плунжерній обробці товщина стружки на виході й вході зуба в різанні постійна. Цей ефект необхідно враховувати, і він є причиною, чому для плунжерного фрезерування необхідно застосовувати більш низьку подачу на зуб, чому для традиційного. Необхідно стежити, щоб у контакті завжди перебували два зуби

2. Постановка проблеми

Процес різання супроводжується великою швидкістю деформації, при цьому різко міняються фізико-механічні властивості матеріалу – зростає число площин ковзання, змінюється співвідношення між границею текучості й тимчасовим опором матеріалу, зростає хімічна активність матеріалу і т.п. Явища, що супроводжують процес різання, приводять до зміни фізико-механічних і хімічних властивостей поверхневого шару як оброблюваного, так і інструментального матеріалу, знижується ефективність різання, і довговічність деталі.

Природа явищ, що викликають зношування різальних інструмент складна. На перший погляд, можна було б очікувати, що більш м'який оброблюваний матеріал не повинен зношувати значно більш твердий інструментальний матеріал. Однак зношування в дійсності має місце і являє собою більшу проблему обробки. У різних умовах різання зношування інструмента може бути викликане різними причинами й мати різні механізми: пластичні деформації інструментального матеріалу при високій температурі, адгезійне зношування, дифузійне розчинення інструментального матеріалу в матеріалі заготовки, абразивне й окисне зношування, утворення сталостних тріщин і руйнування.

Адгезійна взаємодія між інструментальним і оброблюваним матеріалом проявляється у виникненні міжмолекулярних зв'язків на поверхні дотичних матеріалів. Рух стружки й заготовки щодо інструмента приводить до руйнування цих зв'язків і утвору нових, тобто зерна карбідів у твердих сплавах (або інші частки інструментальних матеріалів) перебувають під дією багаторазово повторюваних навантажень.

4. Метою роботи є дослідження процесу обробки складних фасонних поверхонь на основі нелінійних формотворних рухів для подальшого підвищення ефективності обробки фасонних поверхонь.

5. Виклад основного матеріалу

Оброблена поверхня деталі, кінематична схема формоутворення й виробляюча поверхня інструмента, однозначно функціонально взаємозалежні один з одним. Тому нові методи обробки поверхонь передбачають або наявність принципова нової виробляючої поверхні (ВП) і, відповідно, нової кінематичної схеми формоутворення (КСФ), або відомої ВП і нової КСФ. Нова КСФ, в останньому випадку, припускає відмінну від відомих КСФ орієнтацію, щодо номінальної поверхні деталі. Елементами поверхні деталі, щодо яких відбувається орієнтація формотворних рухів інструмента, можуть бути: лінії, розташовані на даній поверхні; лінії, утворені перетинанням поверхні й січними площинами і т.д. Існують різні підходи при розробці нових методів обробки, наприклад, для складних фасонних поверхонь основне завдання моделювання зводиться до встановлення траєкторії руху інструмента, а для поверхонь тіл обертання й інших, що допускають рух твірної лінії по траєкторії заданої напрямної, зводиться до встановлення виробляючої інструментальної поверхні[8].

Однак і в тому, і в іншому випадку, існують певні принципи, при яких забезпечується обробка заданої поверхні. Головний принцип заснований на теорії існування, що обгинає

сімейства кривих і поверхонь, які створюються при переміщенні профілю або номінальної поверхні деталі при її русі по заданій кінематичній схемі, і називається умовою існування ВП. Другий принцип називається умовою торкання без взаємного впровадження підрізання ВП і номінальної поверхні деталі. Третій принцип - умова відсутності перехідних поверхонь на деталях, формуються як недорізання. Причина цього - відсутність торкання інструментальної поверхні й номінальної поверхні деталі на ділянках розривів характеристик.

Аналіз відомих способів формоутворення [4] дозволив зробити пропозицію, що найбільш сильні методи обробки, що володіють ознаками істотної відмінності, утворюються за рахунок орієнтації окремих елементарних рухів щодо осей і площин симетрії номінальної поверхні, тобто рухів, що лежать у напрямках перпендикулярних площинам і осям симетрії або лежачих у площинах, що проходять через осі симетрії.

Основними ознаками, що визначають кінематичну схему, є: кількість формотворчих рухів; види рухів (обертальні, поступальні); якісний состав рухів (головний рух, рух подачі); орієнтація окремих рухів щодо системи координат деталі; кількість і вид погоджених між собою рухів. Вид узгодження між окремими формотворчими рухами (лінійним, нелінійним).

При створенні класифікації кінематичних схем формоутворення СФП важливою метою дослідження є не тільки пошук закономірностей зміни кінематичних схем формоутворення, але й створення нових вискоєфективних кінематичних схем.

Необхідно відзначити, що кінематична схема обробки методом нелінійного обкату фрезою з тороїдальної ВП (рис. 2) більш універсальна, оскільки дозволяє обробляти складні профілі, що перетинаються під будь-яким кутом [12]. Зв'язок між рівнем узгодження руху й видом ковзання визначається: формою виробляючої поверхні інструмента; формою обробленої й номінальної поверхні деталі. Цей зв'язок вивчений недостатньо, особливо при складній формі виробляючої поверхні інструмента й нелінійному узгодженні.

При цьому найменш вивченими в цей час є методи із трьома нелінійно-погодженими рухами з різним коефіцієнтом ковзання, які можуть застосовуватися для обробки складних фасонних поверхонь. Найбільш загальні випадки обробки фасонних поверхонь без елементів симетрії представлено на (рис. 3).

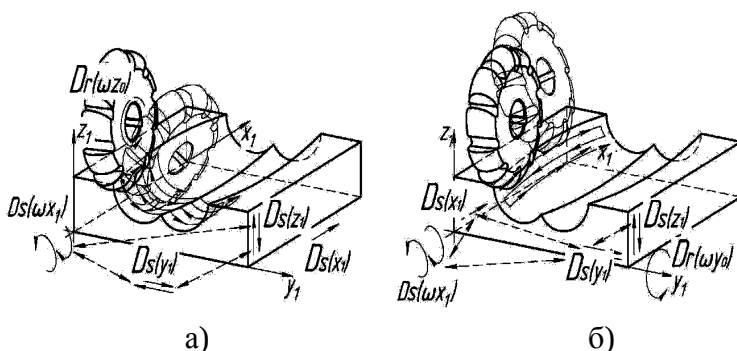


Рис. 2.- Утворення профілю СФП методом нелінійного обкату дисковою фрезою з тороїдальною виробляючою поверхнею з постійним зсувом ріжучої крайки щодо поверхні різання: а) зсув у площині руху інструмента по профілю; б) зсув у площині паралельній напрямку руху інструмента по профілю

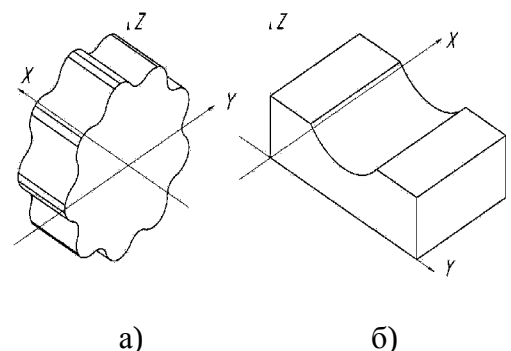


Рис. 3 - Поверхні симетрії, що не мають елементів, і подоби: а – з опуклими криволінійними поверхнями; б – з увігнутими поверхнями

Для представлених вище деталей зі СФП представлена морфологічна матриця, осями якої є форма номінальної поверхні Φ , кількість рухів формоутворення D , кінематична схема обробки K (рис. 4).

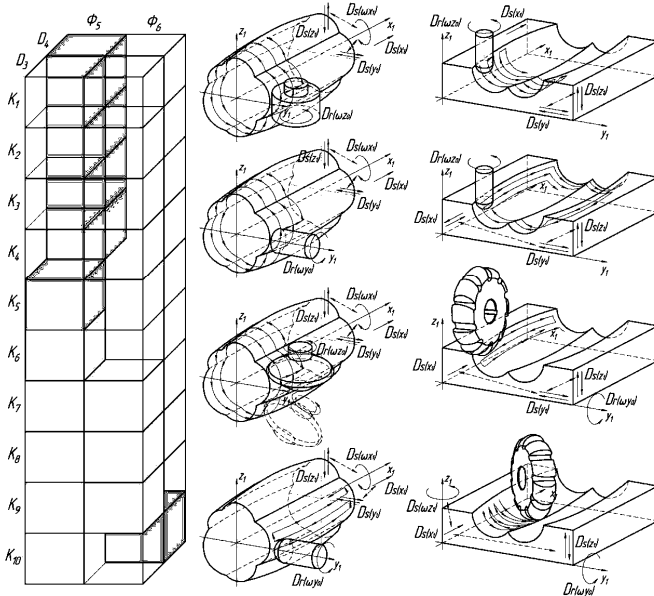


Рис. 4 - Моделювання кінематичних схем із трьома й чотирма одночасними рухами узгодження

оброблюваного профілю, при цьому інструменту задають швидкісні зворотно-гойдаючі рухи навколо центру профільного перетину тороїдальної поверхні інструмента. Кут, що визначає нормальні умови різання $j = j_1 + j_2$, де φ_2 – кут нахилу інструмента з боку подачі обмежується максимальною глибиною різання й визначається із прямокутного ΔAOB (рис. 6.):

$$j_2 = \arccos \frac{r - t}{r}$$

де r – радіус тороїдальної виробляючої поверхні, мм; t – глибина різання, мм. Кут протилежний напрямку руху подачі $j_1 = 90^\circ$.

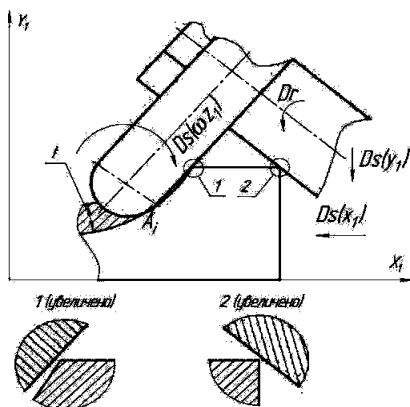


Рис. 5 - Схема до визначення умови неврізання ланок інструментального блоку в необроблювані ділянки заготовки

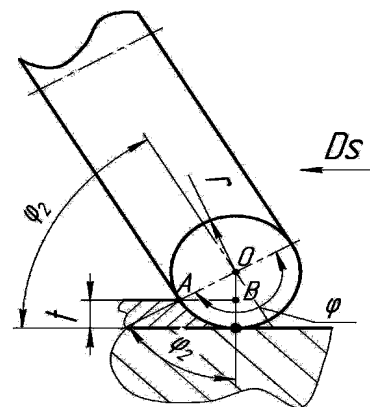


Рис. 6 - Схема до визначення використання максимально можливої довжини ріжучої крайки

Нові кінематичні схеми, синтезовані на основі системної класифікації кінематичних схем з їхньою прив'язкою до елементів симетрії й подоби оброблених поверхонь дотепер маловивчені, внаслідок складної кінематики, і для розробки керуючих програм вимагають детального вивчення.

Висновки

В роботі викладені науково обгрунтовані технічні та технологічні рішення, які полягають в розробці нового високоефективного способу обробки складних фасонних поверхонь дисковими радіусними фрезами зі зворотно-гойдальним рухом подачі навколо центру профільного перетину тороїдальної поверхні інструменту в площині руху по оброблюваному профілю.

Список использованных источников

1. GARANT: Справочник по обработке резанием [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.garant-tools.com.
2. Кувшинский В. В. Фрезерование / В. В. Кувшинский. – М. : Машиностроение, 1977. – 240 с.
3. Ящерицын П. И. Основы резания материалов: учебное пособие / П. И. Ящерицын, В. Д. Ефремов. – Минск : БГАТУ, 2008. – 644 с.
4. Скоркін А. О. Підвищення ефективності протягування за рахунок косокутного різання в зоні деформування / А. О. Скоркін [та ін.] // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА. – 2017. – № 20. – С. 41-47.
5. Шпур Г. Справочник по технологии резания металлов. В 2-х кн. Книга 1 : [перевод с нем.] / Г. Шпур, Т. Штеферле. – М. : Машиностроение, 1985. – 616 с.
6. Шаламов В. Г. Кинематика ротационного и традиционного резания / В. Г. Шаламов, С. Д. Сметанин, М. Н. Гатитулин // Известия Челябинского научного центра. – 2009. – Вып. 3 (45). – С. 13-17.
7. Артамонов Е. В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е. В. Артамонов, Т. Е. Помигалова, М. Х. Утешев; под общей ред. М. Х. Утешева. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 152 с.
8. Андреев В. Н. Совершенствование режущего инструмента / В. Н. Андреев. – М. : Машиностроение, 1993. – 240 с.
9. Баранчиков В. И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания материалов: справочник / В. И. Баранчиков. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.: ил.

References

1. GARANT : Spravochnik po obrabotke rezaniem n.d., viewed , www.garant-tools.com.
2. Kuvshinskij, VV 1977, *Frezerovanie*, Mashinostroenie, Moskva.
3. Jashhericyn, PI & Efremov, VD 2008, *Osnovy rezanija materialov*, Belorusskij gosudarstvennyj agrarnyj tehničeskij universitet, Minsk.
4. Skorkin, AO, Shelkovij, OM, Permjakov, OA & Kondratjuk, OL 2017, 'Pidvyshchennia efektyvnosti protiahuvannia za rakhunok kosokutnoho rizannia v zoni deformuvannia', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 20, pp. 41-47.
5. Shpur, G & Shteferle, T 1985, *Spravochnik po tehnologii rezanija metallov*, Book 1, Mashinostroenie, Moskva.
6. Shalamov, VG, Smetanin, SD & Gatitulin, MN 2009, 'Kinematika rotacionnogo i tradicionnogo rezanija', *Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra*, iss. 3 (45), pp. 13-17.
7. Artamonov, EV, Pomigalova, TE & Uteshev, MH 2011, *Raschet i proektirovanie smennyh rezhushhih plastin i sbornyh instrumentov*, Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyy universitet, Tjumen.
8. Andreev, VN 1993, *Sovershenstvovanie rezhushhego instrumenta*, Mashinostroenie, Moskva.
9. Baranchikov, VI 1990, *Progressivnye rezhushhie instrumenty i rezhimy rezanija materialov*, Mashinostroenie, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 12 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-41-48

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ СЪЕМА АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ КРУГА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЕДИНИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

©Стрельчук Р. М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Стрельчук Роман Михайлович: ORCID: 0000-0002-7221-031X; r.m.strelchuk@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В роботі досліджені особливості формування лунок на поверхні зв'язки шліфувальних кругів. Вплив електричних розрядів на зв'язки 2 і 4 групи викликає утворення змінених поверхневих шарів з підвищеними механічними властивостями, які сприяють більш міцному утриманню зерен. Основними факторами, що впливають на товщину зміненого шару, є енергія імпульсів, швидкість переміщення інструменту і кількість рідини, яка подається в зону правки. У зв'язках 1 групи, в силу низького значення критерію Палатника, електроерозійне вплив формує дуже розвинений рельєф, виступи якого можуть бути більше зерен. У зв'язках 3 групи, що включають струмонепровідні компоненти, розряди з енергією більше 0,05 Дж викликають появу тріщин. Тому інструмент на зв'язках 1 і 3 груп необхідно правити з енергією імпульсів, що не перевищує 0,05 Дж. Електричний розряд, впливаючи на ріжучу поверхню інструменту, надає побічний вплив на алмазні зерна. В результаті термомеханічних і інших впливів поверхня зерна покривається додатковими елементами у вигляді ступенів з розмірами 5-15 мкм. Таким чином, алмазні зерна, після дії розрядів набувають значно більш розвинену поверхню, що підвищує ріжучу поверхню інструменту.

Ключові слова: електроерозійна правка; алмазоносний шар інструменту; одиничний імпульс.

Стрельчук Р. М. «Исследование съема алмазоносного слоя круга под воздействием единичных электрических разрядов».

В работе исследованы особенности формирования лунок на поверхности связки шлифовальных кругов. Воздействие электрических разрядов на связки 2 и 4 группы вызывает образование измененных поверхностных слоев с повышенными механическими свойствами, способствующими более прочному удержанию зерен. Основными факторами, влияющими на толщину измененного слоя, являются энергия импульсов, скорость перемещения инструмента и количество жидкости, подаваемой в зону правки. В связках 1 группы, в силу низкого значения критерия Палатника, электроэрозионное воздействие формирует весьма развитый рельеф, выступы которого могут быть больше зерен. В связках 3 группы, включающих токонепроводящие компоненты, разряды с энергией более 0,05 Дж вызы-

вает появление трещин. Поэтому инструмент на связках 1 и 3 групп необходимо править с энергией импульсов, не превышающей 0,05 Дж. Электрический разряд, воздействуя на режущую поверхность инструмента, оказывает побочное влияние на алмазные зерна. В результате термомеханических и других воздействий поверхность зерна покрывается дополнительными элементами в виде ступеней с размерами 5-15 мкм. Таким образом, алмазные зерна, после воздействия разрядами приобретают значительно более развитую поверхность, что повышает режущую поверхность инструмента.

Ключевые слова: электроэрозионная правка; алмазоносный слой инструмента; единственный импульс.

Strelchuk R. «The study of the removal of the diamond layer of a circle under the influence of single electrical discharges».

The work investigated the features of the formation of holes on the surface of a bunch of grinding wheels. The impact of electrical discharges on the ligaments of groups 2 and 4 causes the formation of modified surface layers with enhanced mechanical properties that contribute to a more durable retention of the grains. The main factors affecting the thickness of the modified layer are the energy of the pulses, the speed of movement of the tool and the amount of fluid supplied to the dressing zone. In bundles of group 1, due to the low value of the Palatnik criterion, the electro-erosion effect forms a very developed relief, the protrusions of which can be larger than the grains. In bundles of group 3, including non-conductive components, discharges with an energy of more than 0.05 J cause the appearance of cracks. Therefore, the tool on the bundles of 1 and 3 groups must be corrected with an energy of impulses not exceeding 0.05 J. An electrical discharge, acting on the cutting surface of the tool, has a side effect on the diamond grains. As a result of thermomechanical and other impacts, the grain surface is covered with additional elements in the form of steps with sizes of 5-15 microns. Thus, diamond grains, after being subjected to discharges, acquire a much more developed surface, which increases the cutting surface of the tool.

Key words: electroerosive editing; diamond layer of the instrument; single impulse.

1. Введение

Для раскрытия физической сущности процесса электроэрозионного алмазного шлифования, в котором общий эффект воздействия состоит из отдельных явлений, происходящих в микрообъемах за доли секунды (алмазное шлифование, электроэрозионная правка), необходимо исследовать именно эти микропроцессы. В случае алмазного шлифования для изучения процесса резания необходимо исследовать микрорезание отдельным зерном. Переноса затем результаты, полученные при этих исследованиях на реальный процесс массового микрорезания-царапания, можно получить общую картину явлений, которые происходят при алмажном шлифовании. Аналогичные методы существуют и при исследованиях электроэрозионных процессов. Изучая явления, сопровождающие единичные электрические разряды,

можно описать интегральный процесс электроэрозионной правки при условии сохранения аддитивности процесса.

Исследованию явлений, сопровождающих единичные электрические разряды, посвящены многие труды отечественных и иностранных авторов [1-5]. Большинство из них для этой цели применяли устройства, вырабатывающие отдельные импульсы остроугольной формы. Достоинством этих устройств является простота конструкции. К недостаткам следует отнести большую длительность формируемого импульса, сложность регулировки его параметров, пилообразную форму. Результаты, полученные при работе с такими устройствами, не соответствуют реальным условиям правки, т. к. большинство современных генераторов вырабатывают импульсы, по форме близкие к прямоугольным. Поэтому необходимо было исследовать импульсы именно прямоугольной формы для реальных условий электроэрозионного алмазного шлифования.

2. Методология исследования

Изготовить в лабораторных условиях генератор, формирующий отдельные импульсы, близкие по форме к прямоугольным довольно сложно.

Поэтому было разработано устройство к транзисторному генератору ШГИ 40-440. Оно просто в изготовлении, надежно в работе, имеет малые габариты (70×70×20мм). Переключением обычного шестиконтактного тумблера генератор переводится из режима непрерывной генерации в режим формирования отдельных импульсов (единичных электрических разрядов).

Схема устройства (рис. 1) работает следующим образом. В исходном состоянии (Π_1 в положении 0) схема отключена от генератора. Переводя Π_1 в положение 1, запираем усилитель напряжения, поскольку транзистор T_3 открыт. При нажатии на кнопку K_1 происходит разряд цепи C_1 - C_5 через диод D_1 , подпертый сопротивлением R_1 .

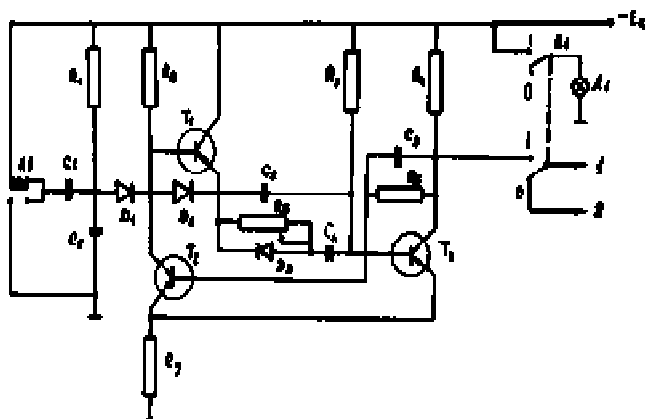


Рис.1 – Принципиальная схема устройства к транзисторному генератору шги 40-440 для формирования единичных импульсов

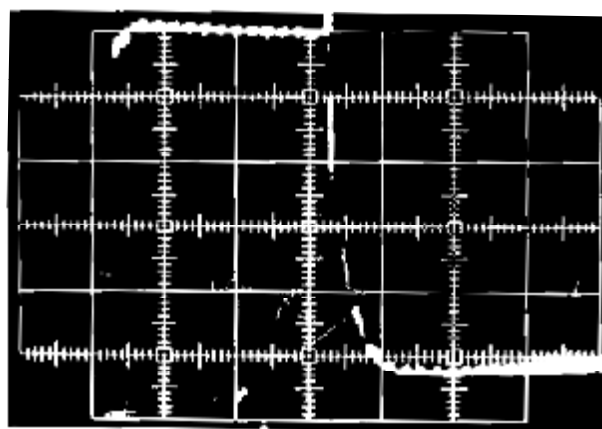


Рис.2 – единичные импульсы прямоугольной формы (1 метка соответствует 10мкс, 1 дел. шкалы осциллографа соответствует 1,5 В.

При этом на базе транзистора T_1 формируется импульс остроугольной формы. Транзистор T_1 открывается и меняет состояние ждущего одновибратора (T_2T_3). Напряжение на коллекторе транзистора T_3 прямоугольной формы. Одновременно с закрытием транзистора T_3 начинает заряжаться цепь C_4R_5 . Ее постоянная времени и определяет длительность импульсов. После заряда C_4 триод T_3 открывается, T_2 закрывается, закрывая T_1 . Тем самым схема приводится в исходное состояние. В результате на выходе генератора получают импульсы прямоугольной формы (рис.2).

Для исследования воздействия единичных импульсов на алмазосный слой кругов на металлических связках применялась установка (рис. 3), которая состояла из генератора ШГИ 40-440, устройства для формирования единичных импульсов, осциллограф С1-29, приспособления для закрепления электрода и исследуемого образца.

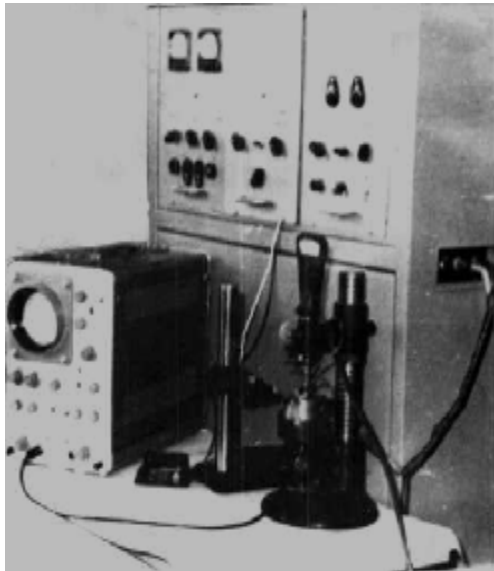


Рис. 3 – Установка для исследования единичных импульсов

Исследовалась электрическая эрозия связок М1, МС1, МС2, МС3, МС6, МС8, МС15, МВ1, МО4, МО13, М50 в рабочей среде – водном растворе нитрита натрия и кальцинированной соды различных концентраций. Рабочая среда вводилась в зазор между электродом-инструментом и образцом из связки каплями. Электродом-инструментом служил стальной шарик диаметром 9 мм из стали шх15. Образец из связки полировался до ra 0,04 мкм. Величина зазора между электродами устанавливалась по микронному индикатору от положения короткого замыкания, определяемого с помощью низковольтного омметра.

За величины, характеризующие лунку, получавшуюся в связке, принимали значение ее диаметра, глубины и объема. Диаметр и глубину лунки определяли по профилограммам, снявшихся в двух перпендикулярных сечениях на профилографе-профилометре мод.201. объем лунки подсчитывался по известной формуле [6]:

$$V_{\text{л}} = \frac{\pi}{6} D_{\text{л}}^2 h_{\text{л}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{л}}$ – диаметр лунки, мм, $h_{\text{л}}$ – глубина лунки, мм

Исследования влияния скорости вращения круга на параметры лунки выполнялись на установке для правки кругов. в качестве источника питания использовался генератор шги 40-

440. скорость вращения круга изменялась при помощи шкивов на валу электродвигателя. в качестве исследуемых применялись круги из связок М1, МС1, МС2, МС3, МС6, МС8, МС15, МВ1, МО4, МО13, М50 чашечной формы. слой связки полировался до Ra 0,04 мкм, электродом служил стальной шарик, который перед опытом устанавливался на расстоянии 10–15 мм от поверхности круга. Одновременно с вращением круга шарiku сообщалась продольная подача $s_{пр}$ 10–15 м/мин. в зазор подавалась рабочая жидкость, как при правке. В результате сочетания двух движений круга и электрода на поверхности связки образовывался ряд лунок, расположенных по спирали. изменением полярности устанавливалась зависимость параметров лунок на аноде и катоде от скорости вращения. Энергия импульсов изменялась в пределах от 0,01 до 0,3 Дж подключением дополнительных сопротивлений к рабочему промежутку. Расчет энергии импульсов производился по формуле:

$$W_u = \int_0^{t_u} UI dt, \quad (2)$$

где U – напряжение разряда, в, I – ток разряда, а, t_u – длительность импульсов, с.

3. Результаты исследований

Объем лунки, образующейся в результате воздействия единичного разряда на алмазосодержащий слой инструмента, является основной характеристикой, определяющей в конечном счете производительность процесса правки. Поэтому определение степени влияния различных факторов на объем лунки имеет большое значение.

Эксперименты, проведенные для всех исследованных связок, показали, что объем лунки нелинейно зависит от энергии импульсов. К аналогичным выводам пришли и авторы [7,8]. В результате исследований установлено, что с увеличением энергии импульсов от 0,01 до 0,3 Дж объем лунки в связке возрастает от $(1 - 6) \times 10^{-5}$ мм до $(25 - 347) \times 10^{-4}$ мм.

Необходимо отметить, что для всех связок характер зависимости объема лунки от энергии импульса не меняется, т.е характер хода кривой $V_{л} = f(W_u)$ остается постоянным. Однако наличие в связках компонентов с различными теплофизическими и электрическими свойствами оказывает заметное влияние на количество материала, удаляемое единичным разрядом.

В первом приближении эрозионная стойкость связки, как известно, может быть определена с помощью критерия Палатника:

$$П = c \gamma T^2, \quad (3)$$

где c – теплоемкость, кал/г°С, γ – плотность, г/см³, λ – теплопроводность, кал/см с°С, T – температура плавления, °С.

Анализ электрических и теплофизических свойств связок позволил расположить их в ряд по возрастанию электроэрозионной стойкости: МО4, МО13, МВ1, М1, МС6, МС15, МС2, МС3, МС1, МС8, М50 (рис. 4).

Такое расположение связок объясняется следующим. Связки МО4, МО13, МВ1 (1 группа) изготавливаются на медно-алюминиево-оловянной основе с небольшими добавками других элементов. Поскольку алюминий и олово имеют небольшие значения критерия Палатника, электроэрозионная стойкость этих связок невысока, поэтому объемы лунок в связках 1 группы при прочих равных условиях максимальные.

Связки 2 группы (М1, МС6, МС15) имеют медно-оловянистую основу. Отсутствие в них алюминия и добавление токопроводных легирующих элементов повышает критерий Палатника и соответственно уменьшает объем лунки под действием разряда.

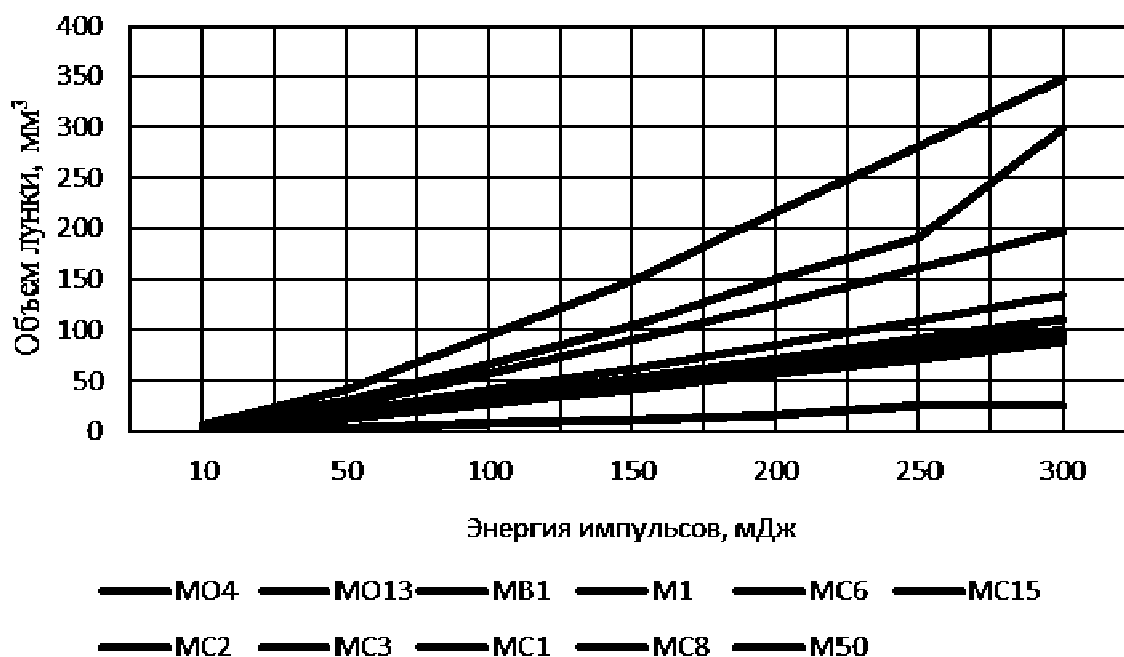


Рис. 4 Влияние энергии импульсов на объем лунки.

Добавление компонентов, не проводящих электрический ток в связки 3 группы (МС2, МС3, МС1, МС8), еще более повышает их электроэрозионную стойкость, уменьшая объем лунки при воздействии единичными разрядами.

Связка 4 группы (М50) представляет собой твердый сплав ВК10, пропитанный медью. С точки зрения электроэрозионной обработки это состав идеального электрода-инструмента с большим значением критерия Палатника. Хорошие тепло- и токопроводность, обусловленные присутствием в связке меди, высокие плотность и температура плавления карбидов вольфрама обеспечивают высокую электроэрозионную стойкость связки, в результате чего объемы единичных лунок при прочих равных условиях в этой связке оказались минимальными.

Обработка результатов опытов выполнялась методами математической статистики. В каждом образце производилось измерение 50 лунок, полученных при воздействии импульсами с одной и той же энергией. Рассчитывался объем каждой лунки. Затем определялся закон распределения объемов лунок, рассчитывались его характеристики, отклонение эмпирической

кривой распределения от теоретической. Определялись среднее арифметическое и дисперсия для каждой энергии импульсов. На основании этих расчетов выполнялся регрессионный анализ, в результате которого была получена формула

$$V_{\text{л}} = aW_{\text{и}}^b, \quad (4)$$

где $V_{\text{л}}$ – объем лунки, мм³, a, b – коэффициент и показатель степени, учитывающие состав связки, $W_{\text{и}}$ – энергии импульсов, мДж.

Значения коэффициента a и показателя степени b , объемов лунок $V_{\text{л}}$, рассчитанных по формуле (4), приведены в табл.1

Анализ показывает, что отклонения от линейной зависимости для всех связок носят закономерный характер и в зависимости от компонентов связки эти отклонения появляются в большей или меньшей степени. Очевидно, что такой характер отклонений от линейной зависимости нельзя отнести за счет погрешностей измерений.

Таблица.1 – Значения коэффициента a и показателя степени b , объемов лунок $V_{\text{л}}$

Связка	a	b	Энергия импульсов, мДж						
			10	50	100	150	200	250	300
МО4	0,387	1,194	6,05	41,30	94,50	148,60	216,50	280,80	347,00
МО13	0,345	1,145	4,82	30,40	67,30	105,20	149,60	190,90	298,50
МВ1	0,327	1,123	4,43	26,40	57,60	90,60	125,30	160,70	197,20
М1	0,282	1,081	3,39	19,40	40,90	62,60	86,00	109,00	133,90
МС6	0,267	1,057	3,05	16,70	33,90	52,70	71,60	91,40	110,90
МС15	0,259	1,046	2,87	15,40	31,90	48,20	66,90	85,60	99,45
МС2	0,252	1,042	2,78	14,90	30,60	46,20	63,30	79,50	96,18
МС3	0,247	1,038	2,69	14,30	29,40	44,40	60,30	74,90	91,81
МС1	0,244	1,035	2,63	14,00	28,60	42,10	58,70	73,50	88,61
МС8	0,242	1,031	2,59	13,60	27,90	42,70	56,90	71,20	88,65
М50	0,088	1,008	1,21	4,10	8,40	12,20	16,80	25,20	25,20

Выводы

Таким образом, анализ результатов исследований показывает, что с повышением энергии импульсов объем единичной лунки увеличивается. Эта зависимость носит нелинейный характер. Воздействие электрических разрядов на связки 2 и 4 группы вызывает образование измененных поверхностных слоев с повышенными механическими свойствами, способствующими более прочному удержанию зерен. Основными факторами, влияющими на толщину измененного слоя, являются энергия импульсов, скорость перемещения инструмента и количество жидкости, подаваемой в зону правки.

Список використаної літератури:

1. Tosun G. The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I: microstructure / G. Tosun , M. Muratoglu // *Composites Science and Technology*. – 2004. – Iss. 64. – Pp. 299-308.
2. Копас J. High-performance grinding: a review / J. Копас , P. Krajnik // *Journal of Materials Processing Technology*/ – 2006. – Iss. 175. – Pp. 278-284.
3. Kim JD, Kang YH, Jin DX, et al. Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves. *Int J Mach Tool Manu*?? 1991; 37: 1611–1624.
4. Gutsalenko, Yu. Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools / Yu. Gutsalenko, C. Iancu, S. Bratan // *Fiability & Durability*. – 2015. – Supplement No. 1(14). – Pp. 3-8.
5. Гуцаленко Ю. Г. Алмазно-искровое шлифование: обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания / Ю. Г. Гуцаленко // *Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков : ГП ХМЗ «ФЭД», 2012. – С. 79-88.*
6. Стрельчук Р. М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-искрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Р. М. Стрельчук; НТУ «ХПІ». – Харків, 2011. – 193 с.
7. Иванов Н. П. Электроэрозионное формирование высоты рельефа рабочей поверхности алмазных кругов при использовании источника постоянного тока / Н. П. Иванов // *Резание и инструмент*. – 1984. – Вып. 32. – С. 21-27.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения: в 10 т. Т. 4 : Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 802 с.

References

1. Tosun, G & Muratoglu, M 2004, 'The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I Microstructure', *Composites Science and Technology*, iss. 64, pp. 299-308.
2. Копас, J & Krajnik, P 2006, 'High-performance grinding: a review', *Journal of Materials Processing Technology*, iss. 175, pp. 278-284.
3. Kim JD, Kang YH, Jin DX, et al. 1991, 'Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves', *Int J Mach Tool Manu*, no. 37, pp. 1611-1624.
4. Gutsalenko, Yu, Iancu, C & Bratan, S 2015, 'Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools', *Fiability & Durability*, Supplement no. 1(14), pp. 3-8.
5. Gucalenko, JuG 2012, 'Almazno-iskrovoe shlifovanie: obzor sorokaletija razrabotki harkovskoj nauchnoj shkoly fiziki processov rezanija', *Fizicheskie i kompjuternye tehnologii v narodnom hozjajstve*, Gosudarstvennoe predpriyatje Harkovskij mashinostroitelnyj zavod FJeD, Harkov, pp. 79-88.
6. Strelchuk, RM 2011, 'Vyznachennia osoblyvostei ta ratsionalnykh umovalmazno-iskrovoho shlifuvannia tverdikh splaviv z nanorozmirnykh zeren monokarbidu volframu', *Kand.tech.n. thesis*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv.
7. Ivanov, NP 1984, 'Jelektroerozionnoe formirovanie vysoty relefa rabochej poverhnostialmaznyh krugov pri ispolzovanii istochnika postojannogo toka', *Rezanie i instrument*, iss. 32, pp. 21-27.
8. Novikov, FV & Jakimov, AV 2002, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija*, Vol. 4 Teorija abrazivnoj ialmazno-abrazivnoj obrabotki materialov, Odesskij natsionalnyj politehnicheskij universitet, Odessa.

Стаття надійшла до редакції 6 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-49-71

УДК 693.546

**ВПЛИВ КУТА ЗМІЩЕННЯ КРИВОШИПІВ НА ДИНАМІКУ РОЛИКОВОЇ
ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИСИПАТИВНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕКУПЕРАЦІЙНОГО ПРИВІДНОГО МЕХАНІЗМУ****©Ловейкін В.С.¹, Почка К.І.², Ромасевич Ю.О.¹, Почка О.Б.²***Національний університет біоресурсів і природокористування України¹**Київський національний університет будівництва і архітектури²***Інформація про авторів:**

Ловейкін Вячеслав Сергійович: ORCID: 0000-0003-4259-3900; lovvs@ukr.net; доктор технічних наук; завідувач кафедри конструювання машин і обладнання; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус № 11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

Почка Костянтин Іванович: ORCID: 0000-0002-0355-002X; shanovniy@ukr.net; кандидат технічних наук; завідувач кафедри основ професійного навчання; Київський національний університет будівництва і архітектури; проспект Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна.

Ромасевич Юрій Олександрович: ORCID: 0000-0001-5069-5929; romasevichyuriy@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри конструювання машин і обладнання; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус № 11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

Почка Ольга Богданівна: ORCID: 0000-0001-5701-978X; zasedkoolga@ukr.net; асистент кафедри теплогазопостачання та вентиляції; Київський національний університет будівництва і архітектури; проспект Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна.

Для роликової формувальної установки з рекупераційним привідним механізмом розраховано навантаження в елементах її конструкції та приводу, отримано залежності для визначення зусилля в шатунах, яке необхідне для приведення в зворотно-поступальний рух формувальних візків, та нормальних реакцій напрямних руху формувальних візків на напрямні ролики в залежності від кута повороту кривошипів.

При дослідженні навантажень використано двомасову динамічну модель роликової формувальної установки, в якій враховано силові та інерційні характеристики привідного двигуна і кожного з формувальних візків, жорсткість привідного механізму та його дисипація. Визначено функцію зміни необхідного крутного моменту на привідному валу кривошипів для забезпечення процесу ущільнення виробів з будівельних сумішей із урахуванням дисипації привідного механізму. За середнім значенням моменту сил опору за цикл повороту кривошипів визначено номінальну розрахункову потужність, за якою вибрано електродвигун, підібрано з'єднувальні муфти та редуктор. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, для роликової формувальної установки з рекупераційним приводом, представленої двомасовою динамічною моделлю, складено диференціальні рівняння руху.

В результаті числового експерименту для роликової формувальної установки з рекупераційним привідним механізмом визначено значення жорсткості привідного механізму, зведеної до осі обертання кривошипів, за якого спостерігаються мінімальні навантаження у муфтах привідного механізму. Встановлено залежність моменту у муфті приводу від величини коефіцієнта дисипації та визначено рекомендовану величину коефіцієнта дисипації для роликової формувальної установки з рекупераційним приводним механізмом. Проаналізова-

но вплив кута зміщення кривошипів на динаміку роликової формувальної установки з рекупераційним приводним механізмом.

Ключові слова: роликова формувальна установка, приводний механізм, зусилля, момент, жорсткість, дисипація, динаміка.

Ловейкин В.С., Почка К.И., Ромасевич Ю.А., Почка О.Б. «Влияние угла смещения кривошипов на динамику роликовой формовочной установки с учётом диссипативных свойств рекуперационного приводного механизма».

Для роликовой формовочной установки с рекуперационным приводным механизмом рассчитаны нагрузки в элементах её конструкции и привода, получены зависимости для определения усилий в шатунах, необходимых для приведения в возвратно-поступательное движение формовочных тележек, и нормальных реакций направляющих движения формовочных тележек на направляющие ролики в зависимости от угла поворота кривошипов.

При исследовании нагрузок использована двухмассовая динамическая модель роликовой формовочной установки, в которой учтены силовые и энергетические характеристики приводного двигателя и каждой из формовочных тележек, жёсткость приводного механизма и его диссипация. Определена функция изменения необходимого крутящего момента на приводном валу кривошипов для обеспечения процесса уплотнения изделий из строительных смесей с учётом диссипации приводного механизма. По среднему значению момента сил сопротивления за цикл поворота кривошипов определена номинальная расчетная мощность, по которой выбран электродвигатель, подобраны соединительные муфты и редуктор. Используя уравнение Лагранжа второго рода, для роликовой формовочной установки с рекуперационным приводом, представленной двухмассовой динамической моделью, составлены дифференциальные уравнения движения.

В результате числового эксперимента для роликовой формовочной установки с рекуперационным приводным механизмом определено значение жёсткости приводного механизма, приведенной к оси вращения кривошипов, при которой наблюдаются минимальные нагрузки в муфтах приводного механизма. Установлена зависимость момента в муфте привода от величины коэффициента диссипации и определена рекомендованная величина коэффициента диссипации для роликовой формовочной установки с рекуперационным приводным механизмом.

Проанализировано влияние угла смещения кривошипов на динамику роликовой формовочной установки с рекуперационным приводным механизмом.

Ключевые слова: роликовая формовочная установка, приводной механизм, усилие, момент, жёсткость, диссипация, динамика.

Loveykin V., Pochka K., Romasevich Yu., Pochka O. «Influence of a corner of shift of cranks on dynamics of roller forming installation taking into account dissipative properties of the recuperation driving mechanism».

For roller forming installation with the recuperation driving mechanism loadings in elements of its design and the drive are calculated, dependences for definition of efforts in the connecting

rods necessary for reduction in back and forth motion of forming carts, and normal reactions of guides of the movement of forming carts to the directing rollers depending on an angle of rotation of cranks are received.

At a research of loadings the two-mass dynamic model of roller forming installation in which power and power characteristics of the driving engine and each of forming carts, rigidity of the driving mechanism and its dissipation are considered is used. Function of change of necessary torque on driving to a shaft of cranks for ensuring process of consolidation of products of construction mixes taking into account dissipation of the driving mechanism is defined. Rated power on which the electric motor is chosen is determined by average value of the moment of forces of resistance for a cycle of turn of cranks, connecting couplings and a reducer are picked up. Using Lagrange's equation of the second sort, for the roller forming installation with the recuperation drive presented by two-mass dynamic model the differential equations of the movement are worked out.

As a result of a numerical experiment for roller forming installation with the recuperation driving mechanism the value of the rigidity of the driving mechanism brought to an axis of rotation of cranks at which the minimum loadings in couplings of the driving mechanism are observed is defined. The dependence of the moment is installed in the drive coupling from the size of coefficient of dissipation and the recommended dissipation coefficient size for roller forming installation with the recuperation driving mechanism is determined.

Influence of a corner of shift of cranks on dynamics of roller forming installation with the recuperation driving mechanism is analysed.

Key words: roller forming installation, driving mechanism, effort, moment, rigidity, dissipation, dynamics.

1. Постановка проблеми.

В установках роликового формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувальних візків [1-7]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роликовим методом [1-4], до цих пір не було досліджено динаміку руху формувального візка та її вплив на процес формування. Мало приділялось уваги режимам руху формувального візка та зусиллям, що виникають в елементах приводного механізму.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-4]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням та режимам руху, що в значній мірі впливає на роботу установки та на якість готової продукції. Під час постійних пускогальмівних режимів руху виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувального візка, що може привести до передчасного виходу установки з ладу [1-6]. Тому актуальною є

задача дослідження динамічних навантажень в елементах установки. В роботах [8-12] визначались навантаження в елементах роликів формувальних установок, одна при цьому не було враховано жорсткість та коефіцієнт дисипації привідного механізму. При визначенні навантажень в елементах роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом [8-10] не було прослідковано вплив кута зміщення кривошипів на динаміки установки.

3. Метою даної роботи є визначення навантажень в елементах роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом із врахуванням жорсткості та коефіцієнта дисипації передавального механізму та дослідження впливу кута зміщення кривошипів на динаміку установки.

4. Виклад основного матеріалу дослідження.

З метою зменшення витрат енергії в машинах роlikового формування запропоновано конструкцію роlikової формувальної установки [13, 14] для забезпечення ущільнення залізобетонних виробів на одній технологічній лінії, яка складається з двох формувальних візків, розташованих паралельно між собою з однієї сторони приводного валу, що приводяться в зворотно-поступальний рух від одного приводу, до складу якого входять два кривошипно-повзунні механізми, кривошипи яких жорстко закріплені на одному приводному валу та зміщені між собою на кут $\frac{\rho}{2}$ (рис. 1, а). Кожний з формувальних візків 1 та 2 змонтовані на порталі 8 і здійснюють зворотно-поступальний рух в напрямних 9 над порожниною форми 10. Формувальний візок 1 складається з подавального бункера 11 та з співвісних секцій уочувальних роликів 12. Таку ж конструкцію має й інший візок. Візки 1 і 2 з розподільними бункерами приводяться в зворотно-поступальний рух за допомогою приводу, виконаного у вигляді двох кривошипно-повзунних механізмів, кривошипи 5 та 6 яких жорстко закріплені на одному приводному валу 7 і зміщені між собою на кут $D_j = \frac{\rho}{2}$. Шатуни 3 та 4 шарнірно з'єднані з формувальними візками 1 та 2, а іншими кінцями з'єднуються з кривошипами 5 та 6. Така конструкція формувальної установки дозволяє здійснювати передачу енергії від одного візка, який здійснює процес гальмування, до другого, який в цей момент здійснює процес розгону. На рис. 1, б зображено кінематичну схему роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом для формування залізобетонних виробів на одній технологічній лінії. На даній кінематичній схемі r – радіус кривошипів 5 та 6; l – довжина шатунів 3 та 4; j – кутова координата положення кривошипа першого візка; D_j – кут зміщення одного кривошипа відносно другого; x_{B_1} та x_{B_2} – координати центрів мас візків 1 та 2 відповідно; b_1 та b_2 – кутові координати, що визначають положення шатунів першого та другого візків відносно горизонталі.

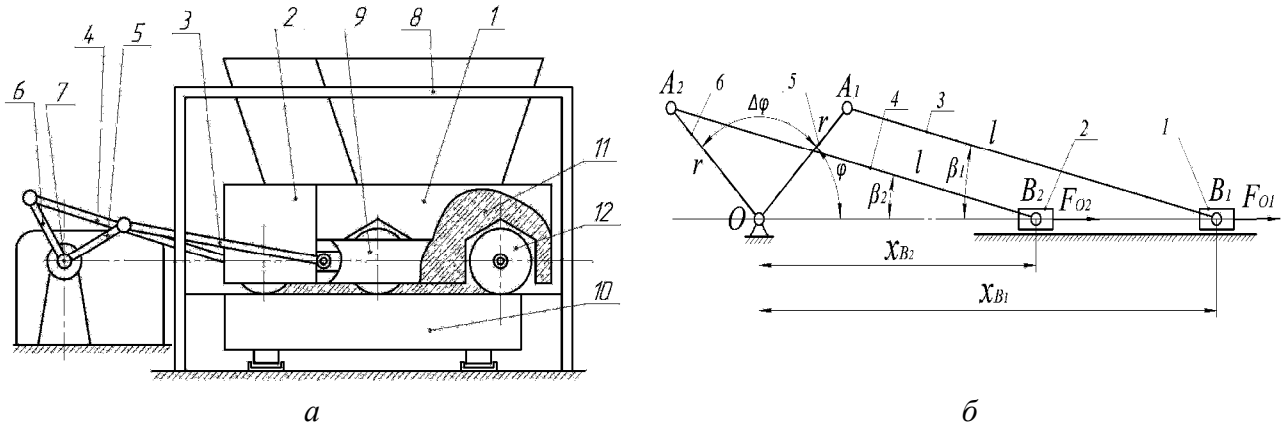


Рис. 1 – Роликова формувальна установка з рекупераційним приводом для формування залізобетонних виробів на одній технологічній лінії (а) та її кінематична схема (б)

Під час роботи роликової формувальної установки з рекупераційним приводним механізмом в елементах передавального механізму від електродвигуна до кривошипів виникають значні динамічні навантаження, які приводять до передчасного руйнування елементів конструкції приводу. Для дослідження цих навантажень використаємо двомасову динамічну модель роликової формувальної установки (рис. 2).

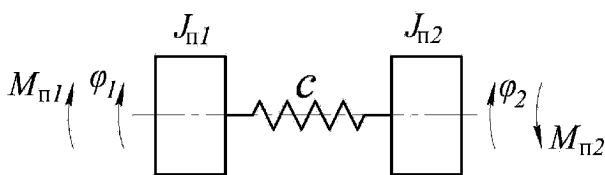


Рис. 2 – Динамічна модель роликової формувальної

В цій моделі прийняті такі позначення: $M_{п1}$ – рушійний момент на валу приводного електродвигуна зведений до осі повороту кривошипів; $M_{п2}$ – момент від сил опору переміщення формувальних візків з укочувальними роликами зведений до осі повороту кривошипів;

$J_{п1}$ – зведений до осі повороту кривошипів момент інерції ротора електродвигуна та елементів приводного механізму; $J_{п2}$ – зведений до осі повороту кривошипів момент інерції формувальних візків та кривошипно-шатунних механізмів; c – жорсткість приводного механізму зведена до осі повороту кривошипів; j_1 та j_2 – узагальнені координати зведених мас $J_{п1}$ та $J_{п2}$ відповідно.

Зведений момент інерції приводного механізму можна визначити наступною залежністю:

$$J_{п1} = (J_p + J_m) \cdot d \cdot u^2, \quad (1)$$

де J_p та J_m – моменти інерції двигуна і муфти, що з'єднує вал двигуна та вхідний вал редуктора, відповідно; d – коефіцієнт, що враховує моменти інерції елементів редуктора зведених до вала двигуна; u – передаточне число редуктора.

Зведений момент інерції $J_{п2}$ визначимо з другої частини механізму (рис. 3), яка включає в себе кривошипно-шатунні механізми з формувальними візками. Причому масу шатунів

першого та другого візків m_0 порівню розділимо в точках A_1 і B_1 та A_2 і B_2 . Тоді момент інерції кривошипів буде визначатися залежністю:

$$J_k = 2 \times J_k^0 + 2 \times \frac{m_{ш}}{2} \times r^2 = 2 \times J_k^0 + m_{ш} \times r^2, \quad (2)$$

а маси візків будуть мати вигляд:

$$m_{B_1} = m_{B_1}^0 + \frac{m_{ш}}{2}; \quad m_{B_2} = m_{B_2}^0 + \frac{m_{ш}}{2}. \quad (3)$$

Тут $m_{ш}$ – маса кожного із шатунів; $m_{B_1}^0$, $m_{B_2}^0$ – маса першого та другого формувальних візків відповідно; J_k^0 – момент інерції кожного із кривошипів відносно власної осі обертання; r – радіус кривошипів; J_k – момент інерції кожного із кривошипів з половиною маси шатуна відносно власної осі обертання; m_{B_1} , m_{B_2} – маса першого та другого візків відповідно з половиною маси шатуна.

Зведений момент інерції $J_{п2}$ визначимо з умови рівності кінетичних енергій кривошипно-шатунних механізмів з візками T_p (рис. 3) та другого диска динамічної моделі (рис. 2) T_m , тобто $T_p = T_m$.

Знайдемо кінетичну енергію кривошипно-шатунних механізмів з візками:

$$T_p = \frac{1}{2} \times J_k \times \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} \times m_{B_1} \times \dot{x}_{S_1}^2 + \frac{1}{2} \times m_{B_2} \times \dot{x}_{S_2}^2, \quad (4)$$

де $\dot{x}_{S_1}$, $\dot{x}_{S_2}$ – швидкості центрів мас першого та другого формувальних візків відповідно.

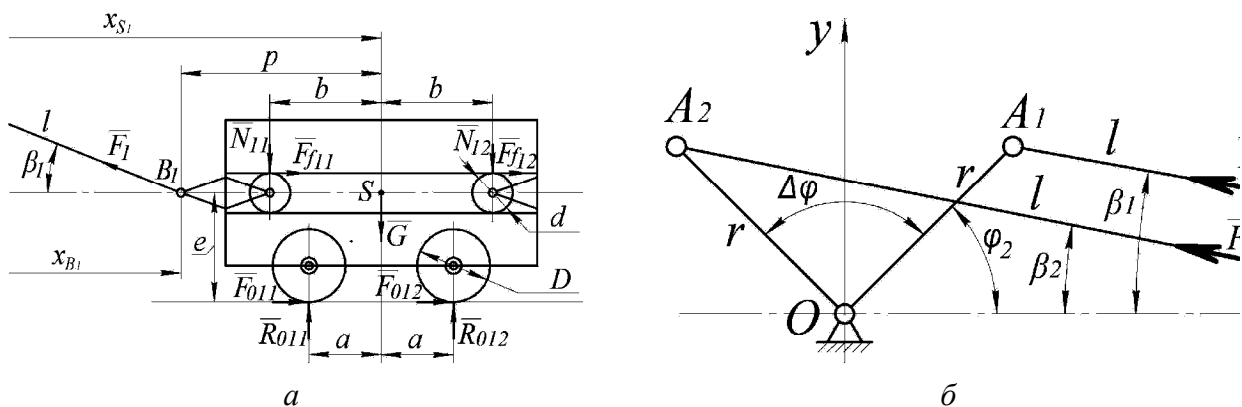


Рис. 3 – Розрахункова схема навантажень на формувальний візок (а) та на приводний механізм (б) установки з рекупераційним приводом

Оскільки обидва візки рухаються поступально, то усі їхні точки мають однакову швидкість. Тому можна прийняти, що $\dot{x}_{S_1} = \dot{x}_{B_1}$ та $\dot{x}_{S_2} = \dot{x}_{B_2}$. Виразимо швидкості точок B_1 та B_2 через координати кривошипів та їх похідні за часом. Для цього скористаємось залежностями:

$$\dot{x}_{B_1} = \dot{x}_2 \times \frac{r_{B_1}}{r_2}; \quad \dot{x}_{B_2} = \dot{x}_2 \times \frac{r_{B_2}}{r_2}. \quad (5)$$

Тоді залежність (4) буде мати вигляд:

$$T_p = \frac{1}{2} \times \dot{x}_2^2 \times \frac{J_k}{r_2} + m_{B_1} \times \frac{a_{x_{B_1}} \ddot{x}_2}{r_2} + m_{B_2} \times \frac{a_{x_{B_2}} \ddot{x}_2}{r_2}. \quad (6)$$

Кінетична енергія другого диска на рис. 2 виражається залежністю:

$$T_m = \frac{1}{2} \times J_{n2} \times \dot{x}_2^2. \quad (7)$$

Прирівнюючи залежності (6) та (7), будемо мати:

$$\frac{1}{2} \times \dot{x}_2^2 \times \frac{J_k}{r_2} + m_{B_1} \times \frac{a_{x_{B_1}} \ddot{x}_2}{r_2} + m_{B_2} \times \frac{a_{x_{B_2}} \ddot{x}_2}{r_2} = \frac{1}{2} \times J_{n2} \times \dot{x}_2^2. \quad (8)$$

З рівняння (8) отримуємо:

$$J_{n2} = J_k + m_{B_1} \times \frac{a_{x_{B_1}} \ddot{x}_2}{r_2} + m_{B_2} \times \frac{a_{x_{B_2}} \ddot{x}_2}{r_2}. \quad (9)$$

Для визначення зведеного моменту сил опору M_{n2} скористаємось рис. 3, на якому прийняті такі позначення: F_1 та F_2 – зусилля в шатунах, необхідне для подолання сил опору, що діють на візки; b_1 та b_2 – кутові координати, що визначають положення шатунів першого та другого візків відносно горизонталі; для першого формувального візка F_{011} , F_{012} – горизонтальні сили взаємодії уковувальних роликів з бетонною сумішшю; R_{011} , R_{012} – вертикальні сили взаємодії уковувальних роликів з бетонною сумішшю; N_{11} , N_{12} – нормальні реакції напрямних руху формувального візка на напрямні ролики; $F_{f11} = N_{11} \times f_{np}$, $F_{f12} = N_{12} \times f_{np}$ – сили тертя напрямних роликів по напрямних руху формувального візка; $f_{ю}$ – зведений коефіцієнт тертя напрямних роликів по напрямних руху формувального візка; G – сила тяжіння формувального візка; a , b , p , e – геометричні розміри формувального візка; D – діаметр уковувального ролика; d – діаметр напрямного ролика; l – довжина шатуна. Для другого формувального візка силові параметри F_{021} , F_{022} , R_{021} , R_{022} , N_{21} , N_{22} , F_{f21} , F_{f22} , $f_{ю}$, G та геометричні характеристики a , b , p , e , D , d , l будуть ідентичні.

Для визначення реакцій напрямних роликів N_{11} , N_{12} , N_{21} та N_{22} , а також зусиль в шатунах F_1 та F_2 розглянемо статичну рівновагу першого та другого формувальних візків. Спроекуємо всі сили, що діють на кожний з візків на координатні осі x і y та складемо суму моментів цих сил відносно точок B_1 та B_2 (рис. 3) в результаті чого отримаємо: для першого формувального візка:

$$\begin{aligned}
\ddot{X} &= -F_1 \cos b_1 + N_{11} \times f_{np} + N_{12} \times f_{np} + F_{011} + F_{012} = 0; \\
\ddot{Y} &= F_1 \sin b_1 - N_{11} - N_{12} - G + R_{011} + R_{012} = 0; \\
\ddot{M}_{B_1} &= -N_{11} \times (p - b) - N_{12} \times (p + b) - G \times p - (N_{11} + N_{12}) \times f_{np} \times \frac{d}{2} + \\
&\quad + (F_{011} + F_{012}) \times e + R_{011} \times (p - a) + R_{012} \times (p + a) = 0.
\end{aligned} \tag{10}$$

для другого формувального візка:

$$\begin{aligned}
\ddot{X} &= -F_2 \cos b_2 + N_{21} \times f_{np} + N_{22} \times f_{np} + F_{021} + F_{022} = 0; \\
\ddot{Y} &= F_2 \sin b_2 - N_{21} - N_{22} - G + R_{021} + R_{022} = 0; \\
\ddot{M}_{B_2} &= -N_{21} \times (p - b) - N_{22} \times (p + b) - G \times p - (N_{21} + N_{22}) \times f_{np} \times \frac{d}{2} + \\
&\quad + (F_{021} + F_{022}) \times e + R_{021} \times (p - a) + R_{022} \times (p + a) = 0.
\end{aligned} \tag{11}$$

Розв'язавши системи рівнянь (10) та (11), знаходимо:

$$F_1 = \frac{1}{\cos b_1 - f_{np} \sin b_1} \times (R_{011} + R_{012} - G) \times f_{np} + F_{011} + F_{012}; \tag{12}$$

$$F_2 = \frac{1}{\cos b_2 - f_{np} \sin b_2} \times (R_{021} + R_{022} - G) \times f_{np} + F_{021} + F_{022}; \tag{13}$$

$$N_{12} = \frac{1}{2 \times b} \times \left(\begin{aligned} &R_{011} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - a - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + R_{012} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + a - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - \ddot{u} \\ &G \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + F_1 \sin b_1 \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - p - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - \ddot{u} \end{aligned} \right); \tag{14}$$

$$N_{22} = \frac{1}{2 \times b} \times \left(\begin{aligned} &R_{021} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - a - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + R_{022} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + a - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - \ddot{u} \\ &G \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} + F_2 \sin b_2 \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - p - f_{np} \times \frac{d}{2} \times \ddot{\theta} - \ddot{u} \end{aligned} \right); \tag{15}$$

$$N_{11} = R_{011} + R_{012} + F_1 \sin b_1 - N_{12} - G; \tag{16}$$

$$N_{21} = R_{021} + R_{022} + F_2 \sin b_2 - N_{22} - G. \tag{17}$$

На основі залежностей (12) та (13) знайдемо моменти сил опору M_{o1} і M_{o2} від кожного з формувальних візків та сумарний момент сил опору M_{o2} , зведений до осі повороту кривошипів:

$$M_{o1} = F_1 \times r \cos \frac{\alpha}{2} - f_2 - b_1 \times \ddot{\theta} = F_1 \times r \sin(f_2 + b_1); \tag{18}$$

$$M_{o2} = F_2 \times r \cos \frac{\alpha}{2} - (f_2 + Df) - b_2 \times \ddot{\theta} = F_2 \times r \sin(f_2 + Df + b_2); \tag{19}$$

$$M_{n2} = M_{o1} + M_{o2} = F_1 \times r \sin(f_2 + b_1) + F_2 \times r \sin(f_2 + Df + b_2). \tag{20}$$

Величина кутів b_1 та b_2 може бути визначена зі співвідношень:

$$r \sin j_2 = l \sin b_1; \quad r \sin(j_2 + Dj) = l \sin b_2. \tag{21}$$

Звідки

$$b_1 = \arcsin \frac{r}{l} \sin j_2 \times \ddot{\theta}; \quad b_2 = \arcsin \frac{r}{l} \sin(j_2 + Dj) \times \ddot{\theta}. \tag{22}$$

Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду складемо диференціальні рівняння руху роликової формувальної установки з рекупераційним приводом, представленої двома-совою динамічною моделлю:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_1} - \frac{\partial T}{\partial f_1} &= Q_{f_1} - \frac{\partial \Pi}{\partial f_1}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_2} - \frac{\partial T}{\partial f_2} &= Q_{f_2} - \frac{\partial \Pi}{\partial f_2}, \end{aligned} \quad (23)$$

де t – час; T – кінетична енергія системи; Q_{f_1} , Q_{f_2} – узагальнені сили, що відповідають координатам j_1 та j_2 відповідно; Π – потенціальна енергія системи, яка має вигляд:

$$\Pi = \frac{1}{2} \times c \times (f_1 - f_2)^2. \quad (24)$$

Кінетична енергія системи виражається залежністю:

$$T = \frac{1}{2} \times J_{n1} \times \dot{f}_1^2 + \frac{1}{2} \times \hat{e} J_{\kappa} + m_{B_1} \times \frac{\partial x_{B_1}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + m_{B_2} \times \frac{\partial x_{B_2}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + \frac{1}{2} \times \dot{f}_2^2. \quad (25)$$

Узагальнені сили мають вигляд:

$$Q_{f_1} = M_{n1}; \quad Q_{f_2} = M_{n2}, \quad (26)$$

де M_{n1} – рушійний момент на валу приводного електродвигуна зведений до осі повороту кривошипа, який визначається за формулою Клосса:

$$M_{n1} = \frac{2 \times M_{кр} \times u \times \eta_n}{1 - \frac{f_1^2 \times u}{w_0} + \frac{s_{кр}}{1 - \frac{f_1^2 \times u}{w_0}}}. \quad (27)$$

Тут $M_{кр}$ – критичний (максимальний) момент на валу приводного електродвигуна; u – передаточне число приводного механізму; η_n – коефіцієнт корисної дії приводного механізму; w_0 – синхронна кутова швидкість ротора приводного електродвигуна; $s_{кр}$ – критичне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю:

$$s_{кр} = s_n \times (1 + \sqrt{l^2 - 1}),$$

де l – кратність максимального моменту електродвигуна (перевантажувальна здатність двигуна); s_n – номінальне ковзання електродвигуна, що визначається наступним виразом:

$$s_n = 1 - \frac{w_n}{w_0}.$$

Тут w_n – номінальна кутова швидкість ротора приводного електродвигуна. Взявши похідні від виразу кінетичної енергії системи, отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial f_1} &= 0; \quad \frac{\partial T}{\partial f_2} = f_2^2 \times \hat{e} m_{B_1} \times \frac{\partial x_{B_1}}{\partial f_2} \times \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial f_2^2} + m_{B_2} \times \frac{\partial x_{B_2}}{\partial f_2} \times \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial f_2^2} \times \dot{f}_2; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_1} &= J_{n1} \times \dot{f}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_2} = \hat{e} J_{\kappa} + m_{B_1} \times \frac{\partial x_{B_1}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + m_{B_2} \times \frac{\partial x_{B_2}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + \dot{f}_2; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_1} &= J_{n1} \times \ddot{f}_1; \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{f}_2} = \hat{e} J_{\kappa} + m_{B_1} \times \frac{\partial x_{B_1}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + m_{B_2} \times \frac{\partial x_{B_2}}{\partial f_2} \times \ddot{f}_2 + \dot{f}_2 + \\ &\quad + f_2^2 \times \hat{e} m_{B_1} \times \frac{\partial x_{B_1}}{\partial f_2} \times \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial f_2^2} + m_{B_2} \times \frac{\partial x_{B_2}}{\partial f_2} \times \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial f_2^2} \times \dot{f}_2. \end{aligned} \quad (28)$$

Після підстановки виразів (24), (26), (27), (12), (13) та (20) в систему рівнянь (23) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 J_{\pi 1} \ddot{\varphi}_1 &= \frac{2 M_{\text{кр}} \omega \eta_{\pi}}{1 - \frac{f_1 \omega}{w_0} + \frac{s_{\text{кр}}}{1 - \frac{f_1 \omega}{w_0}}} - c(f_1 - f_2); \\
 J_{\kappa} \ddot{\varphi} + m_{B_1} \frac{d^2 x_{B_1}}{dt^2} + m_{B_2} \frac{d^2 x_{B_2}}{dt^2} + \\
 + f_2^2 \frac{d^2 x_{B_1}}{dt^2} + m_{B_1} \frac{d^2 x_{B_1}}{dt^2} \times \frac{1}{f_2^2} + m_{B_2} \frac{d^2 x_{B_2}}{dt^2} \times \frac{1}{f_2^2} \dot{\varphi} = \\
 = c(f_1 - f_2) - \frac{1}{\cos b_1 - f_{\text{np}} \sin b_1} \times (R_{011} + R_{012} - G) \times f_{\text{np}} + F_{011} + F_{012} \times \sin(f_2 + b_1) - \\
 - \frac{1}{\cos b_2 - f_{\text{np}} \sin b_2} \times (R_{021} + R_{022} - G) \times f_{\text{np}} + F_{021} + F_{022} \times \sin(f_2 + b_2).
 \end{aligned} \quad (29)$$

Для роликової формувальної установки з параметрами [4]: $r = 0,2\text{ м}$; $l = 0,8\text{ м}$; горизонтальні сили взаємодії уковувальних роликів з бетонною сумішшю $F_{011} = F_{012} = F_{021} = F_{022} = 7962\text{ Н}$ при здійсненні процесу ущільнення формувальним візком з двома уковувальними роликами радіусом $R = 0,11\text{ м}$ будівельної суміші з наступними характеристиками: висота виробу – $h_0 = 0,22\text{ м}$, ширина виробу – $B = 1,164\text{ м}$; тип суміші, що ущільнюється – дрібнозерниста суміш; вологість бетонної суміші – $W = 10\%$; потрібна щільність виробу – $k_{\text{ущ}} = 0,98$; величина максимального контактного тиску, що забезпечує $k_{\text{ущ}} = 0,98$ при $W = 10\%$, за експериментальними даними $p = 625\text{ кПа}$; $R_{011} = R_{012} = R_{021} = R_{022} = 9740\text{ Н}$; $m_{\text{ш}} = 64\text{ кг}$; $m_{B_1} = m_{B_2} = 1000\text{ кг}$; $f_{\text{ш}} = 0,008$; $D = 0,22\text{ м}$; $d = 0,046\text{ м}$; $a = 0,27\text{ м}$; $b = 0,37\text{ м}$; $p = 0,52\text{ м}$ $p = 0,52\text{ м}$ $p = 0,52\text{ м}$; $e = 0,21\text{ м}$; маса візка з половиною маси шатуна $m_{B_1} = m_{B_2} = 1032\text{ кг}$; $G = 10124,9\text{ Н}$ за виразами (12)-(20) визначено функції та побудовано графіки зміни реакцій напрямних роликів N_{11} , N_{12} , N_{21} і N_{22} (рис. 4), зусилля в шатунах F_1 і F_2 (рис. 5) та моментів сил опору M_{o1} , M_{o2} та $M_{\pi 2}$ (рис. 6) в залежності від кута повороту кривошипів.

За середнім значенням зведеного моменту сил опору за цикл повороту кривошипа визначено номінальну розрахункову потужність двигуна [15, 16]. За цими даними вибрано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А основного виконання 4А160S6УЗ [17] з параметрами: $w_o = 104,72\text{ рад/с}$, $w_{\text{н}} = 102,1\text{ рад/с}$, $w_{\text{кр}} = 94,95\text{ рад/с}$ –

синхронна, номінальна та критична швидкості обертання ротора двигуна; $J_p = 0,138 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції ротора двигуна; $M_{\pi} = 129,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – пусковий момент; $M_n = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номінальний момент; $M_{\text{кр}} = 215,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – критичний момент; $\lambda = \frac{M_{\text{кр}}}{M_n} = 2,0$ – відношення критичного моменту до номінального; $s_n = 0,025$ – номінальне ковзання електродвигуна; $s_{\text{кр}} = 0,0933$ – критичне ковзання електродвигуна. Також підібрано з'єднувальну муфту МУВП [18] з номінальним моментом, що передається, $M_{\text{м ном}} = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і моментом інерції $J_{\text{м}} = 0,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ та редуктор Ц2-400 з передаточним числом $u = 9,8$ і моментом інерції $J_{\text{ред}} = 0,046 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

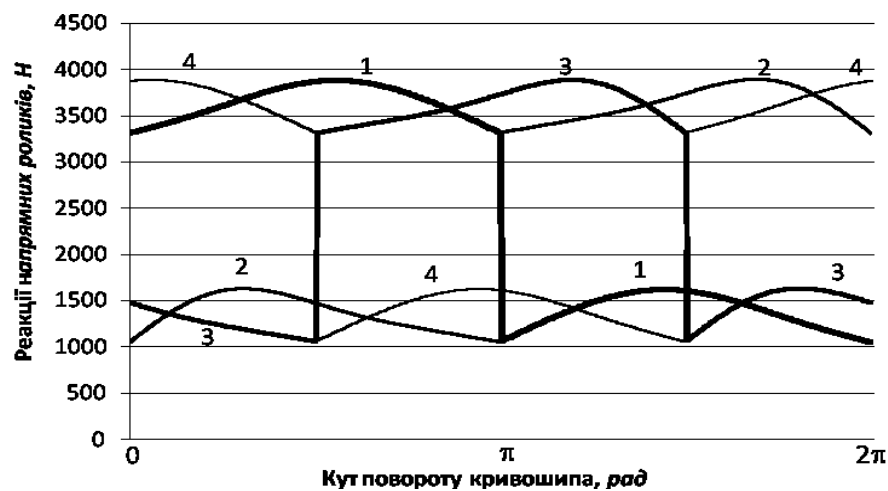


Рис. 4 – Графіки зміни реакцій напрямних роликів N_{11} (1), N_{12} (2), N_{21} (3) та N_{22} (4) в залежності від кута повороту кривошипів



Рис. 5 – Графік зміни зусилля в шатунах F_1 (1) та F_2 (2) в залежності від кута повороту кривошипів

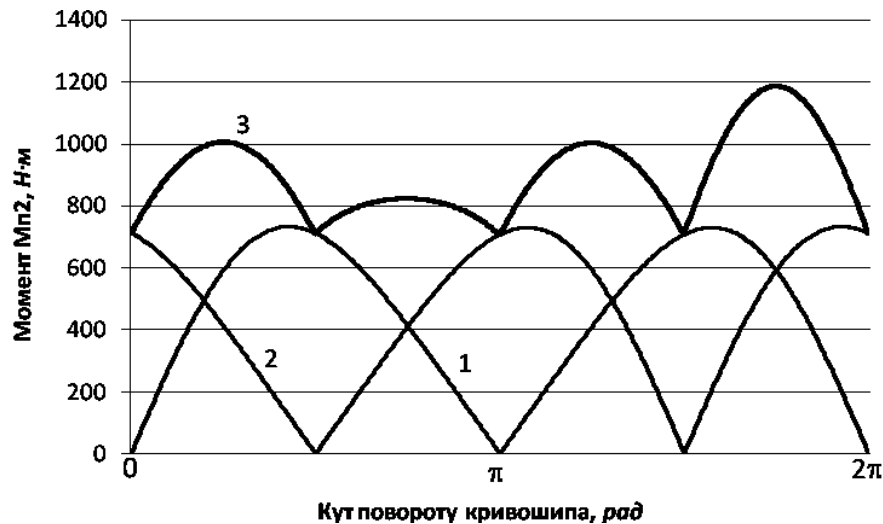


Рис. 6 – Графік зміни моментів сил опору M_{o1} (1), M_{o2} (2) та $M_{п2}$ (3) в залежності від кута повороту кривошипів

Значення першої та другої передаточних функцій візків визначаються з виразів функцій зміни координат першого та другого формувальних візків відповідно (рис. 1, б) [5, 8]:

$$x_{B_1} = r \times \cos j_2 + l \times \cos b_1; \quad (30)$$

$$x_{B_2} = r \times \cos(j_2 + Dj) + l \times \cos b_2. \quad (31)$$

З рівностей (21) можна отримати:

$$\sin b_1 = \frac{r}{l} \times \sin j_2 \quad \text{®} \quad \cos b_1 = \frac{\dot{e}}{\dot{e}} - \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin j_2 \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}}^{\frac{1}{2}}; \quad (32)$$

$$\sin b_2 = \frac{r}{l} \times \sin(j_2 + Dj) \quad \text{®} \quad \cos b_2 = \frac{\dot{e}}{\dot{e}} - \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin(j_2 + Dj) \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}}^{\frac{1}{2}}. \quad (33)$$

Вирази $\cos b_1$ та $\cos b_2$ можна розкласти в ряд за формулою бінома Ньютона:

$$\frac{\dot{e}}{\dot{e}} - \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin j_2 \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}}^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} \times \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin j_2 \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}} - \frac{1}{8} \times \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin j_2 \frac{\ddot{u}^4}{\dot{u}} - \dots; \quad (34)$$

$$\frac{\dot{e}}{\dot{e}} - \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin(j_2 + Dj) \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}}^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} \times \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin(j_2 + Dj) \frac{\ddot{u}^2}{\dot{u}} - \frac{1}{8} \times \frac{\ddot{e}}{\dot{e}l} \times \sin(j_2 + Dj) \frac{\ddot{u}^4}{\dot{u}} - \dots \quad (35)$$

Відношення $\frac{r}{l}$ для роликових формувальних установок з кривошипно-шатунними

приводними механізмами не перевищують $\frac{1}{3}$ і ряди (34) та (35) досить швидко сходяться, тому з достатньою для практики точністю можна відкинути третій та подальші члени рядів (34) та (35). Тоді залежності (30) та (31) будуть мати вигляд:

$$x_{B_1} = r \cos j_2 + l \frac{\dot{\varphi}}{c} - \frac{1}{2} \frac{\ddot{\varphi}}{c l} \sin j_2 \frac{\ddot{u}}{\ddot{\varphi}}; \quad (36)$$

$$x_{B_2} = r \cos(j_2 + \Delta j) + l \frac{\dot{\varphi}}{c} - \frac{1}{2} \frac{\ddot{\varphi}}{c l} \sin(j_2 + \Delta j) \frac{\ddot{u}}{\ddot{\varphi}}. \quad (37)$$

Значення першої та другої передаточних функцій обох формувальних візків матимуть вигляд:

$$\frac{\ddot{x}_{B_1}}{\ddot{u}} = -r \frac{\ddot{\varphi}}{c} \sin j_2 + \frac{r}{2l} \sin 2j_2 \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}}; \quad \frac{\ddot{x}_{B_2}}{\ddot{u}} = -r \frac{\ddot{\varphi}}{c} \sin(j_2 + \Delta j) + \frac{r}{2l} \sin 2(j_2 + \Delta j) \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}}; \quad (38)$$

$$\frac{\ddot{x}_{B_1}^2}{\ddot{u}^2} = -r \frac{\ddot{\varphi}}{c} \cos j_2 + \frac{r}{l} \cos 2j_2 \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}}; \quad \frac{\ddot{x}_{B_2}^2}{\ddot{u}^2} = -r \frac{\ddot{\varphi}}{c} \cos(j_2 + \Delta j) + \frac{r}{l} \cos 2(j_2 + \Delta j) \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}}. \quad (39)$$

В результаті числового експерименту встановлено, що оптимальне значення жорсткості привідного механізму, зведеної до осі обертання кривошипів, установки з рекупераційним приводом із наведеними вище параметрами становить $c = 110000 \frac{H}{M}$. Визначення оптимального значення жорсткості привідного механізму здійснювалось за методикою, описаною в роботах [19, 20]. При цьому значенні жорсткості спостерігаються мінімальні навантаження у муфтах привідного механізму. Це значення жорсткості використано в наступних розрахунках.

Для дослідження динаміки руху роликової формувальної установки з урахуванням дисипації при пускогальмівних режимах руху формувальних візків систему рівнянь (29) було доповнено величиною дисипації приводу k :

$$\begin{aligned} J_{n1} \ddot{\varphi} &= \frac{2M_{кр} \omega \omega_m}{1 - \frac{f_1^2 \omega}{w_0} + \frac{s_{кр}}{s_{кр} (1 - \frac{f_1^2 \omega}{w_0})}} - c(f_1 - f_2) - k(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2); \\ \ddot{J}_{кр} + m_{B_1} \frac{\ddot{x}_{B_1}}{c} \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}} + m_{B_2} \frac{\ddot{x}_{B_2}}{c} \frac{\ddot{\varphi}}{\ddot{\varphi}} + \\ &+ f_2^2 \frac{\ddot{\varphi}}{c} m_{B_1} \frac{\ddot{x}_{B_1}}{\ddot{\varphi}} \frac{\ddot{x}_{B_1}}{\ddot{\varphi}} + m_{B_2} \frac{\ddot{x}_{B_2}}{\ddot{\varphi}} \frac{\ddot{x}_{B_2}}{\ddot{\varphi}} \frac{\ddot{u}}{\ddot{\varphi}} = \\ &= c(f_1 - f_2) + k(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - \\ &- \frac{1}{\cos b_1 - f_{np} \sin b_1} \times (R_{011} + R_{012} - G) \times f_{np} + F_{011} + F_{012} \times r \sin(f_2 + b_1) - \\ &- \frac{1}{\cos b_2 - f_{np} \sin b_2} \times (R_{021} + R_{022} - G) \times f_{np} + F_{021} + F_{022} \times r \sin(f_2 + \Delta f + b_2). \end{aligned} \quad (40)$$

Розв'язавши систему рівнянь (40) визначено та встановлено залежність зміни моменту в муфті в залежності від коефіцієнту дисипації [21]. Аналіз отриманих результатів [21] показує, що для роlikової формувальної установки з рекупераційним привідним механізмом із вказаними вище параметрами рекомендована величина коефіцієнта дисипації має значення в межах від $k = 6000 \frac{H \times c}{M}$ до $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$. Більше значення коефіцієнта дисипації на динаміку установки впливатиме не значно, однак потребуватиме більшої точності виготовлення привідного механізму [21].

Виходячи із системи рівнянь (40) розраховано та побудовано графіки зміни динамічної складової пружного моменту у муфті $M_{\text{муф}}$ (рис. 7) на ділянці усталеного руху в залежності від часу при значеннях коефіцієнта дисипації $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ (сірий колір) та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ (чорний колір). Аналіз цих графіків показує, що при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ динамічна складова пружного моменту у муфті на усталеному режимі руху змінюється в межах від $M_{\text{муф min}} = -374,45 H \times m$ до $M_{\text{муф max}} = 367,59 H \times m$, при цьому зміна відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті становить $\Delta M_{\text{муф}} = 742,04 H \times m$. При значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ момент у муфті на усталеному режимі руху змінюється в межах від $M_{\text{муф min}} = -348,57 H \times m$ до $M_{\text{муф max}} = 348,67 H \times m$, а зміна відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті становить $\Delta M_{\text{муф}} = 697,24 H \times m$.

На рис. 8-10 наведено графічні залежності $((j_1 - j_2), (\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2))$, $((\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2), (\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2))$ та $((j_1 - j_2), (\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2))$ при значеннях коефіцієнта дисипації $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ (сірий колір) та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ (чорний колір) відповідно. Аналіз цих графіків показує їх однаковий характер зміни, однак при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ відхилення різниць кутових координат, кутових швидкостей і кутових прискорень мають значення $D(f_1 - f_2) = 0,0059 \text{ рад}$, $D(\dot{f}_1 - \dot{f}_2) = 0,1704 \text{ рад / с}$ та $D(\ddot{f}_1 - \ddot{f}_2) = 5,7096 \text{ рад / с}^2$ відповідно, а при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ ці відхилення мають значення $D(f_1 - f_2) = 0,0029 \text{ рад}$, $D(\dot{f}_1 - \dot{f}_2) = 0,0773 \text{ рад / с}$ та $D(\ddot{f}_1 - \ddot{f}_2) = 2,381 \text{ рад / с}^2$ відповідно.

Визначені відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті, відхилення різниць кутових координат, кутових швидкостей і кутових прискорень відповідають роlikовій формувальній установці з рекупераційним приводом, у якій кут зміщення кривошипів дорівнює $\Delta j = p/2$.

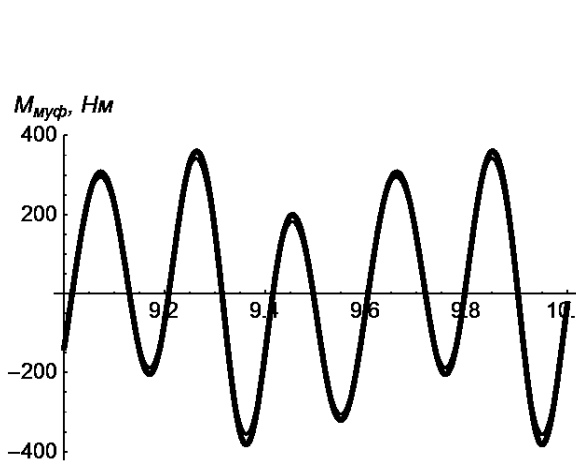


Рис. 7 – Графік зміни динамічної складової пружного моменту у муфті $M_{\text{мyf}}$ в залежності від часу

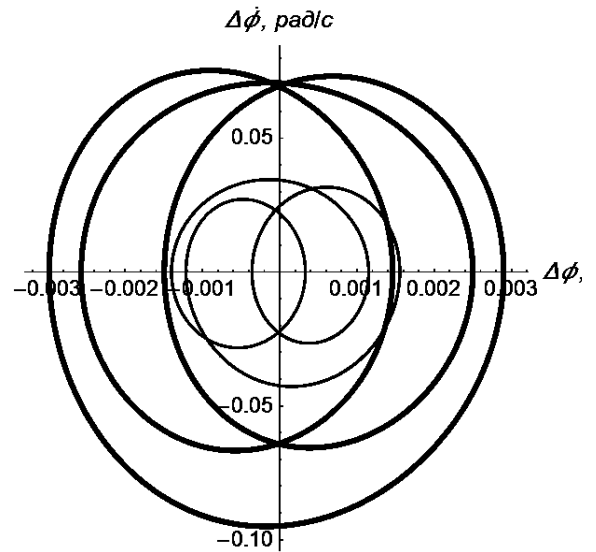


Рис. 8 – Графічна залежність $((j_1 - j_2), (k_1 - k_2))$

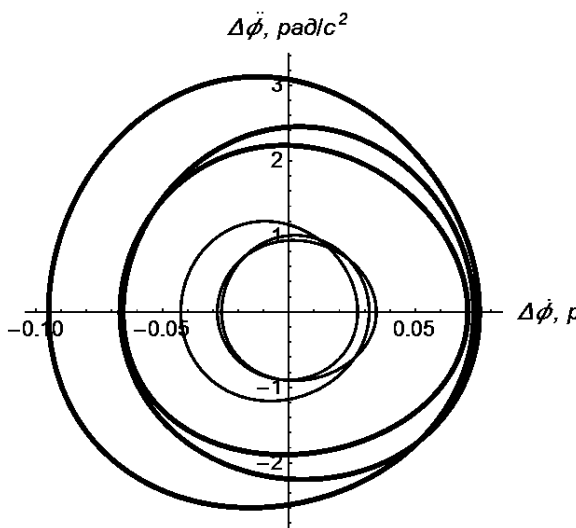


Рис. 9 – Графічна залежність $((k_1 - k_2), (k_1 - k_2))$

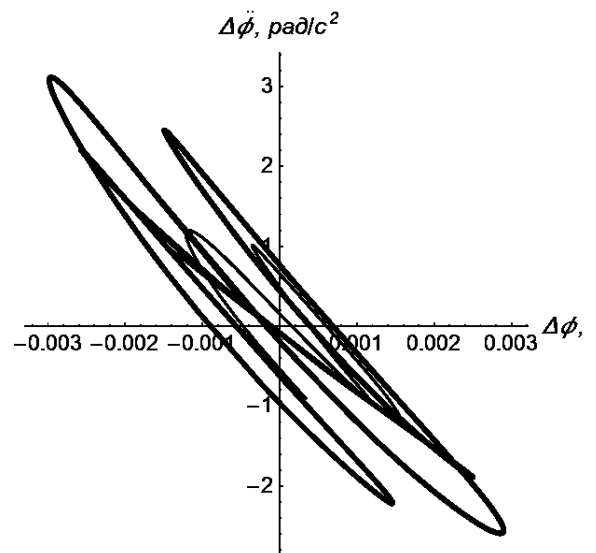


Рис. 10 – Графічна залежність $((j_1 - j_2), (k_1 - k_2))$

Для встановлення впливу кута зміщення кривошипів на вказані параметри в попередніх розрахунках було підставлено різні значення кута Dj в межах від $Dj = 0^0$ до $Dj = 180^0$ з кроком 10^0 при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$. Результати розрахунків наведено в табл. 1. Також наведено графіки зміни динамічної складової пружного моменту у муфті, графічних залежностей $((j_1 - j_2), (k_1 - k_2))$, $((k_1 - k_2), (k_1 - k_2))$ та $((j_1 - j_2), (k_1 - k_2))$ для значень коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ (сірий колір) та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ (чорний колір) при різних значеннях кута зміщення кривошипів Dj .

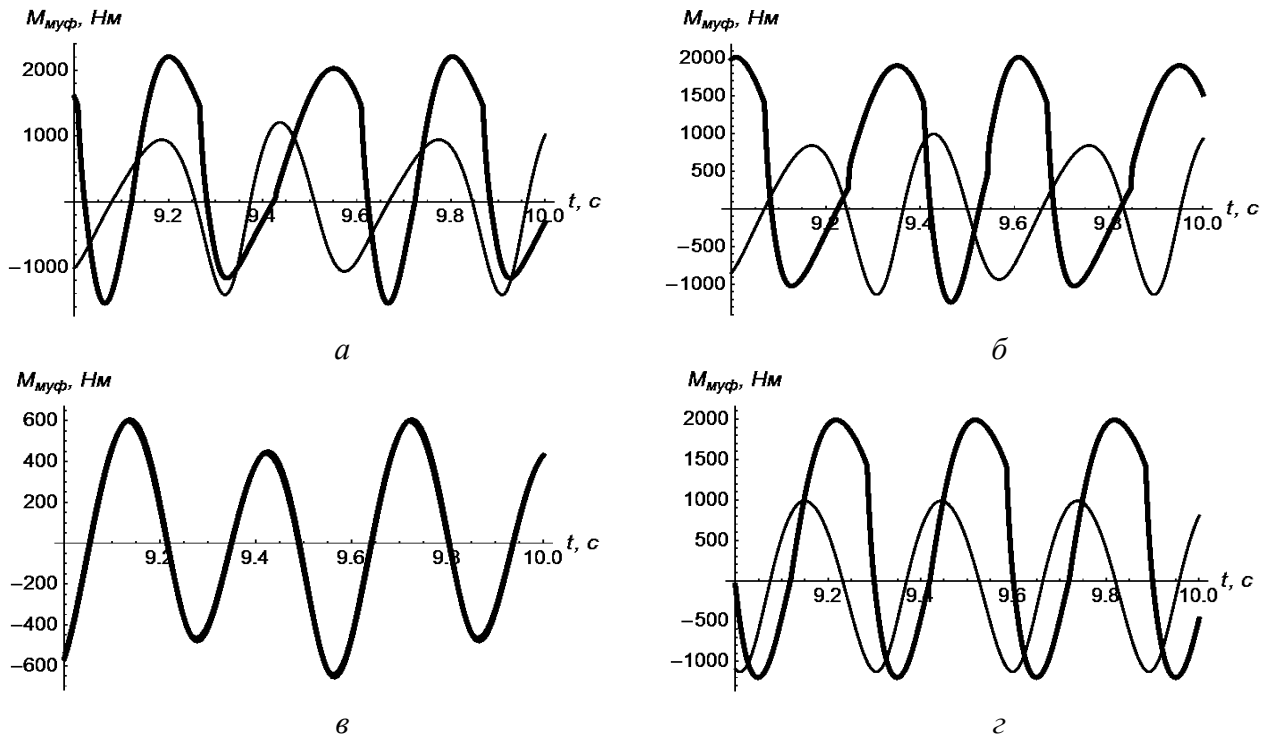


Рис. 11 – Графіки зміни динамічної складової пружного моменту у муфті $M_{\text{мф}}$

в залежності від часу при різних значеннях кута зміщення кривошипів:

а – $Dj = 0^\circ$; б – $Dj = 30^\circ$; в – $Dj = 60^\circ$; г – $Dj = 180^\circ$

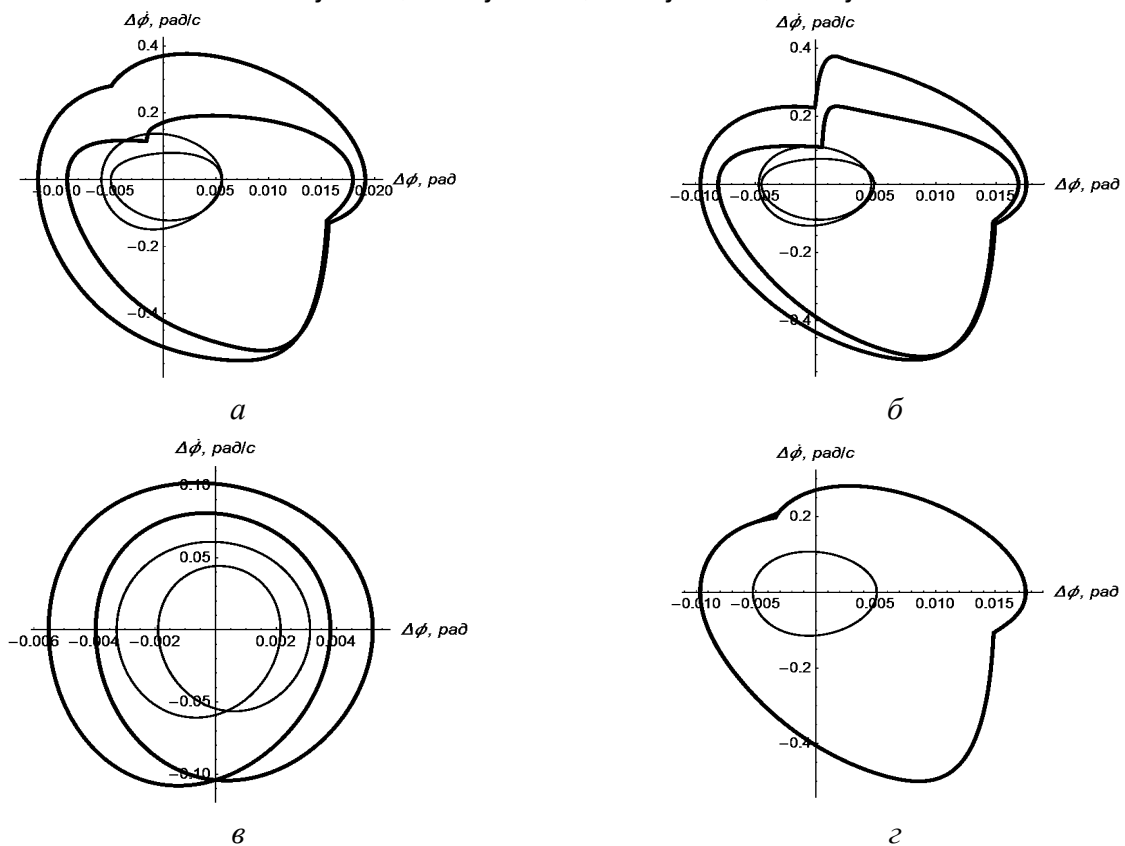


Рис. 12 – Графічні залежності $((j_1 - j_2), (\dot{j}_1 - \dot{j}_2))$ при різних значеннях кута зміщення кри-

вошипів: а – $Dj = 0^\circ$; б – $Dj = 30^\circ$; в – $Dj = 60^\circ$; г – $Dj = 180^\circ$

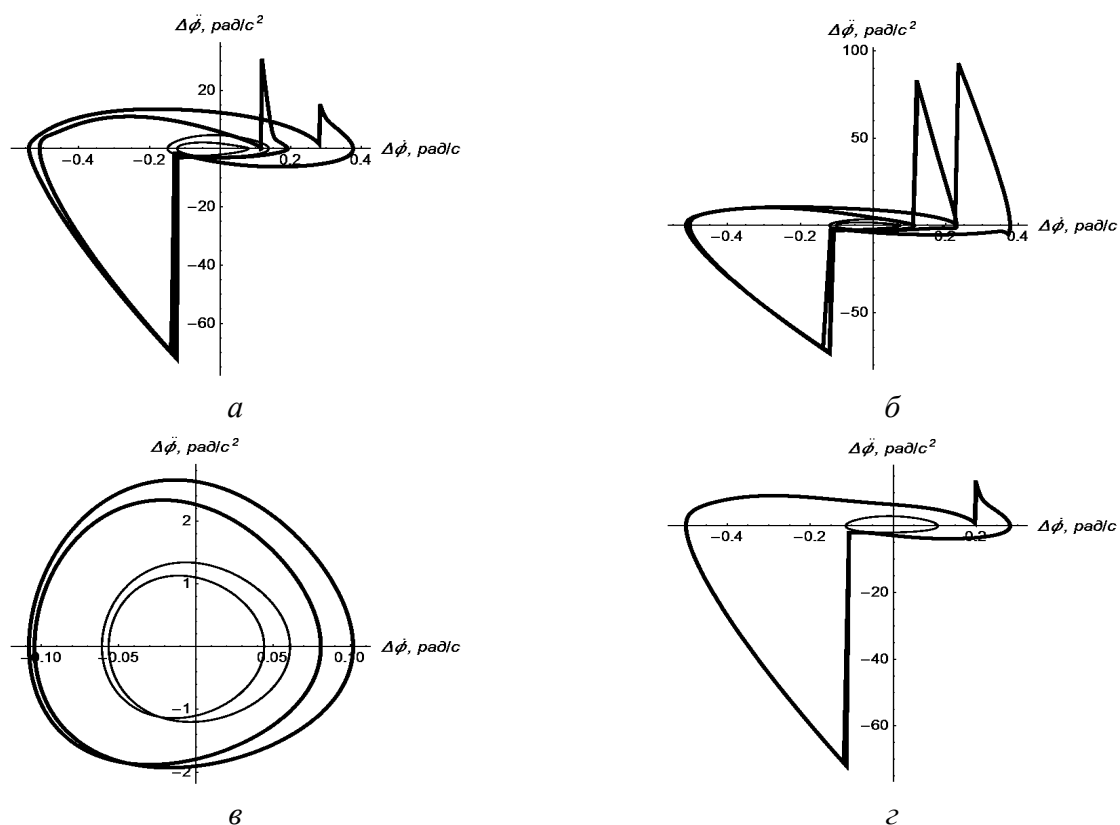


Рис. 13 – Графічні залежності $((j_1 - j_2), (j_1 - j_2))$ при різних значеннях кута зміщення кривошипів: а – $Dj = 0^\circ$; б – $Dj = 30^\circ$; в – $Dj = 60^\circ$; г – $Dj = 180^\circ$

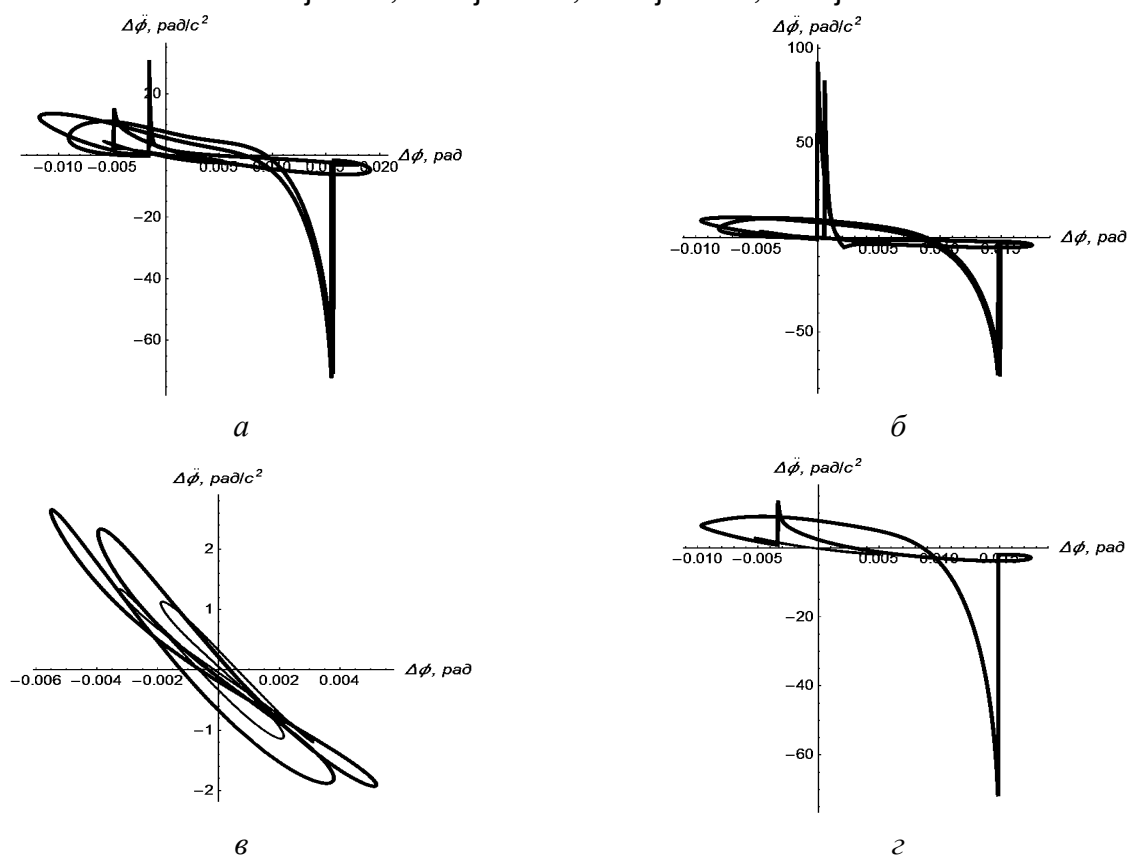


Рис. 14 – Графічні залежності $((j_1 - j_2), (j_1 - j_2))$ при різних значеннях кута зміщення кривошипів: а – $Dj = 0^\circ$; б – $Dj = 30^\circ$; в – $Dj = 60^\circ$; г – $Dj = 180^\circ$

Таблиця 1 – Результати розрахунків

D_j , $рад$	$DM_{\text{муф}},$ $H \times m$	$D(j_1 - j_2),$ $рад$	$D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2),$ $рад/с$	$D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2),$ $рад/с^2$	$DM_{\text{муф}},$ $H \times m$	$D(j_1 - j_2),$ $рад$	$D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2),$ $рад/с$	$D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2),$ $рад/с^2$
	$k = 2000 \frac{H \times c}{m}$				$k = 8000 \frac{H \times c}{m}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3752,52	0,0309	0,9176	100,989	3581,29	0,0169	0,4117	84,239
10	3694,79	0,0305	0,9106	148,212	3527,22	0,0168	0,4057	126,373
20	3524,35	0,0292	0,9071	163,204	3367,49	0,0164	0,388	149,0
30	3250,01	0,0271	0,8914	162,721	3109,65	0,0157	0,3605	151,023
40	2888,38	0,0242	0,8406	157,774	2766,51	0,0148	0,3268	148,555
50	1466,22	0,0125	0,2773	6,7525	1430,47	0,0075	0,1491	3,5144
60	1257,88	0,0107	0,2097	4,5846	1227,78	0,0064	0,1217	2,541
70	1046,7	0,0088	0,1792	4,3068	1019,25	0,0051	0,101	2,272
80	836,55	0,0069	0,1566	4,2047	809,59	0,0038	0,0814	2,065
90	742,04	0,0059	0,1704	5,7096	697,24	0,0029	0,0773	2,381
100	1199,56	0,0097	0,2567	8,105	1134,55	0,0047	0,1203	3,528
110	1601,22	0,013	0,3316	10,077	1519,06	0,0065	0,1605	4,5001
120	1929,59	0,0158	0,391	11,507	1834,9	0,0081	0,1934	5,252
130	3267,34	0,0269	0,9143	162,101	3090	0,0154	0,3663	149,769
140	3411,34	0,0283	0,8833	166,821	3242,23	0,0155	0,3716	151,787
150	3470,67	0,0289	0,8544	175,619	3312,62	0,0162	0,3761	186,443
160	3448,51	0,0289	0,8272	169,053	3307,43	0,0166	0,3731	141,669
170	3351,35	0,0283	0,8019	132,746	3233,15	0,0166	0,3628	142,873
180	3188,08	0,0272	0,7808	86,527	3097,46	0,0163	0,3459	86,977

На основі даних табл. 1 побудовано графіки зміни відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті $DM_{\text{муф}}$ (рис. 15, а), відхилення різниць кутових координат $D(j_1 - j_2)$ (рис. 15, б), кутових швидкостей $D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2)$ (рис. 15, в) та кутових прискорень $D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2)$ (рис. 15, г) в залежності від кута зміщення кривошипів приводу при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{m}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{m}$.

Аналіз даних табл. 1 та графіків на рис. 15 показує, що відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті та відхилення різниць кутових координат при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{\dot{I} > \ddot{n}}{i}$ та $k = 8000 \frac{\dot{I} > \ddot{n}}{i}$ свої мінімальні значення мають при куті зміщення кривошипів $Dj = 90^\circ$; мінімальне значення відхилення різниць ку-

тових швидкостей при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ спостерігається при куті зміщення кривошипів $Dj = 80^\circ$, а при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ – при $Dj = 90^\circ$; відхилення різниць кутових прискорень при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ свої мінімальні значення мають при куті зміщення кривошипів $Dj = 80^\circ$.

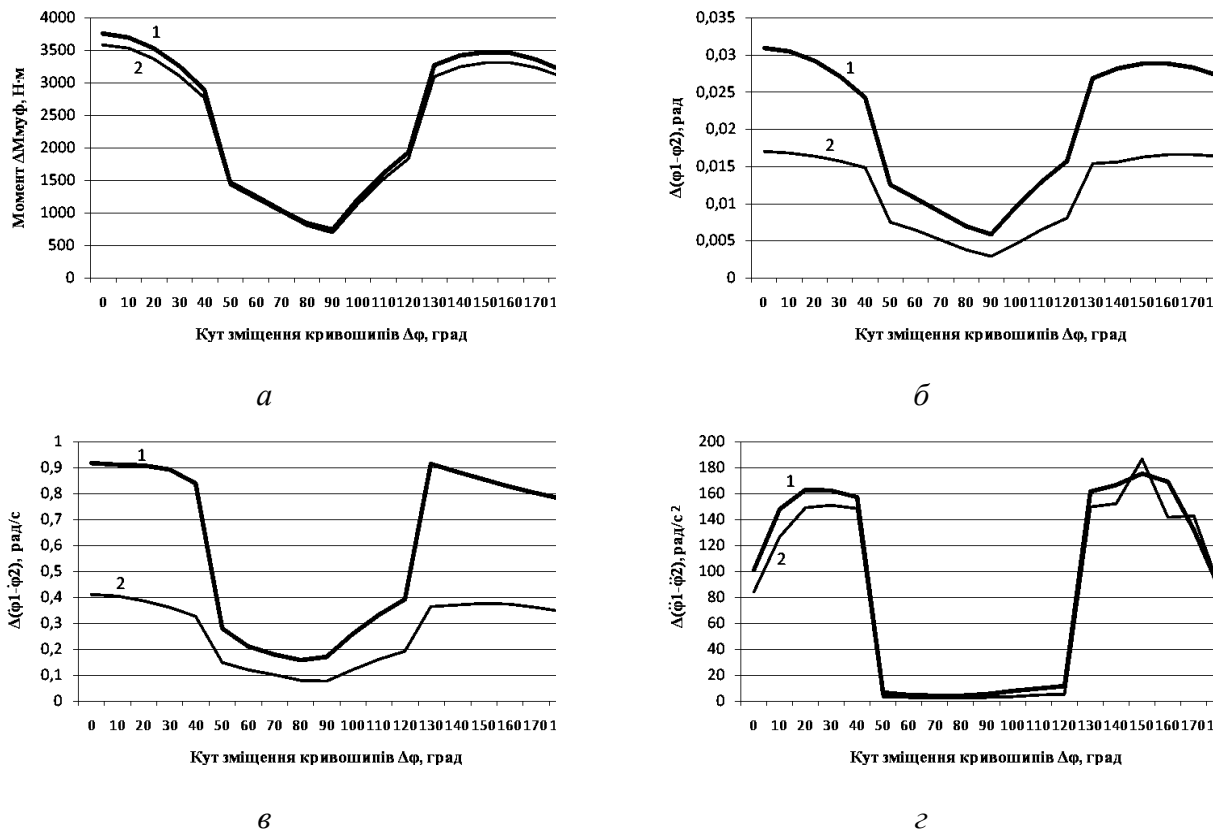


Рис. 15 – Графіки зміни відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті (а), різниць кутових координат (б), кутових швидкостей (в) та кутових прискорень (г) в залежності від кута зміщення кривошипів при значеннях коефіцієнта дисипації приводу

$$k = 2000 \frac{H \times c}{M} \quad (1) \text{ та } k = 8000 \frac{H \times c}{M} \quad (2)$$

Для більш точного аналізу було розраховано значення відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті $\Delta M_{\text{муф}}$, відхилення різниць кутових координат $D(j_1 - j_2)$, кутових швидкостей $D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2)$ та кутових прискорень $D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2)$ в залежності від кута зміщення кривошипів приводу в межах від $Dj = 80^\circ$ до $Dj = 100^\circ$ з кроком 1° при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків

D_j , $рад$	$DM_{\text{муф}},$ $H \times m$	$D(j_1 - j_2),$ $рад$	$D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2),$ $рад/с$	$D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2),$ $рад/с^2$	$DM_{\text{муф}},$ $H \times m$	$D(j_1 - j_2),$ $рад$	$D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2),$ $рад/с$	$D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2),$ $рад/с^2$
	$k = 2000 \frac{H \times c}{m}$				$k = 8000 \frac{H \times c}{m}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	836,55	0,00695	0,1566	4,2047	809,59	0,00384	0,0814	2,0654
81	815,6	0,00676	0,1546	4,1964	788,62	0,0037	0,0795	2,0456
82	794,66	0,00657	0,1527	4,1962	767,65	0,00357	0,0776	2,0257
83	773,72	0,00638	0,1507	4,2254	746,68	0,00345	0,0757	2,0057
84	752,79	0,00619	0,1488	4,2548	725,71	0,00332	0,0739	1,9855
85	731,87	0,00601	0,1469	4,3987	704,75	0,00319	0,072	1,965
86	710,96	0,00582	0,1493	4,6653	683,78	0,00306	0,0706	1,9444
87	690,04	0,00563	0,1535	4,9298	662,82	0,00293	0,0723	2,0117
88	669,14	0,00544	0,1577	5,1922	641,87	0,00287	0,074	2,1357
89	694,21	0,00549	0,1618	5,4522	651,54	0,00292	0,0756	2,2587
90	742,04	0,00588	0,1704	5,7096	697,24	0,00296	0,0773	2,3808
91	789,59	0,00627	0,1793	5,9642	742,68	0,00299	0,0792	2,5018
92	836,83	0,00667	0,1882	6,2159	787,82	0,00317	0,0839	2,6216
93	883,72	0,00705	0,1971	6,4645	832,63	0,00337	0,0886	2,7401
94	930,23	0,00744	0,2059	6,7098	877,08	0,00357	0,0933	2,8573
95	976,32	0,00782	0,2146	6,9518	921,13	0,00377	0,0979	2,9731
96	1021,96	0,0082	0,2232	7,1902	964,76	0,00397	0,1025	3,0874
97	1067,13	0,00858	0,2317	7,4249	1007,94	0,00417	0,107	3,2001
98	1111,81	0,00895	0,2401	7,6557	1050,64	0,00436	0,1115	3,3113
99	1155,96	0,00931	0,2484	7,8825	1092,85	0,00455	0,1159	3,4207
100	1199,56	0,00968	0,2567	8,1052	1134,55	0,00474	0,1203	3,5284

На основі даних табл. 2 побудовано графіки зміни відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті $DM_{\text{муф}}$ (рис. 16, а), відхилення різниць кутових координат $D(j_1 - j_2)$ (рис. 16, б), кутових швидкостей $D(\dot{j}_1 - \dot{j}_2)$ (рис. 16, в) та кутових прискорень $D(\ddot{j}_1 - \ddot{j}_2)$ (рис. 16, г) в залежності від кута зміщення кривошипів приводу в межах від $D_j = 80^\circ$ до $D_j = 100^\circ$ при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{m}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{m}$. Аналіз даних табл. 2 та графіків на рис. 16 показує, що відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті та відхилення різниць кутових координат при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{m}$ та $k = 8000 \frac{H \times c}{m}$ свої мінімальні значення мають при куті зміщення кривошипів $D_j = 88^\circ$; мінімальне значення відхилення різниць кутових швидкостей

при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ спостерігається при куті зміщення кривошипів $D_j = 85^\circ$, а при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ – при $D_j = 86^\circ$; відхилення різниць кутових прискорень при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ своє мінімальне значення має при куті зміщення кривошипів $D_j = 82^\circ$, а при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ – при $D_j = 86^\circ$.

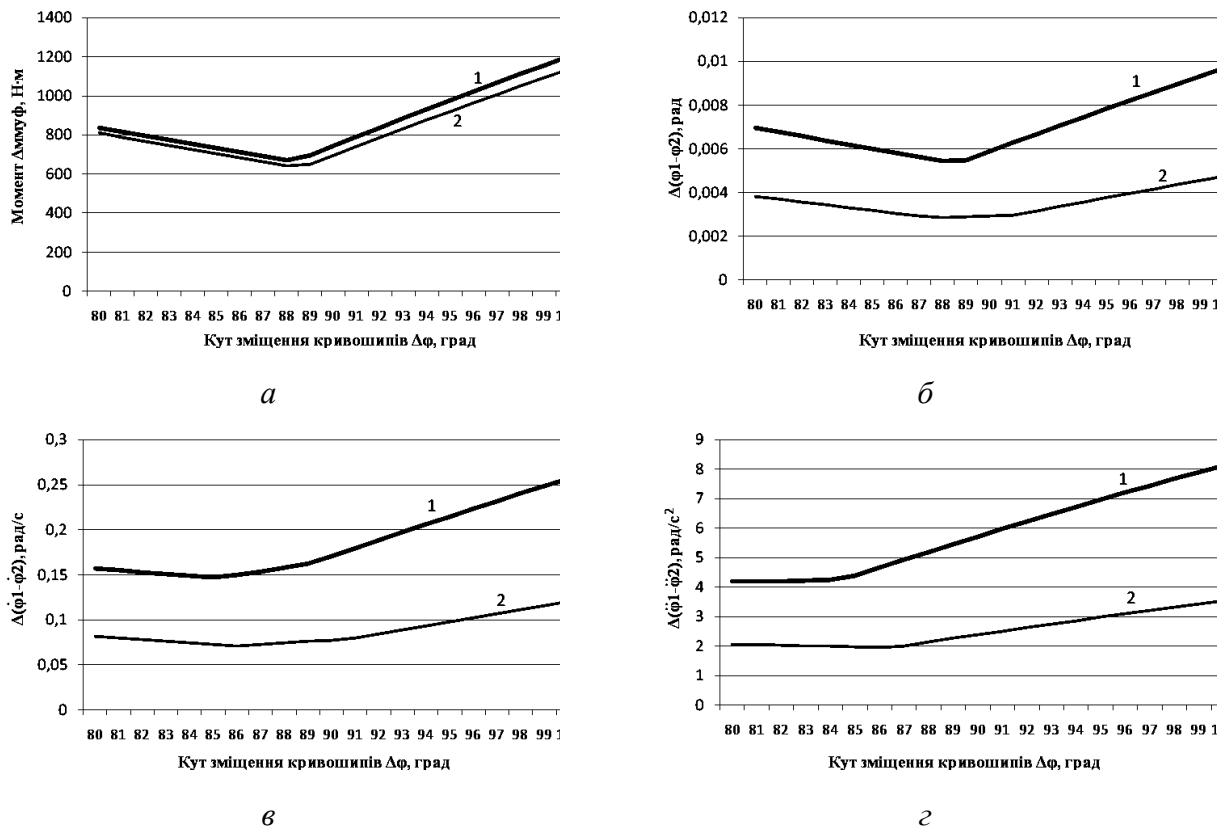


Рис. 16 – Графіки зміни відхилення динамічної складової пружного моменту у муфті (а), різниць кутових координат (б), кутових швидкостей (в) та кутових прискорень (г) в залежності від кута зміщення кривошипів при значеннях коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{H \times c}{M}$ (1) та $k = 8000 \frac{H \times c}{M}$ (2)

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що мінімальні значення відхилень динамічної складової пружного моменту у муфті, відхилення різниць кутових координат, кутових швидкостей та кутових прискорень спостерігаються при значеннях кута зміщення кривошипів приводу близьких до $D_j = 90^\circ$. При цьому значенні кута зміщення кривошипів приводу значно покращуються динамічні характеристики установки.

Висновки.

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликів формувальної установки з рекуперативним приводом розраховано навантаження в елементах її конструкції та приводу, визначено функцію зміни необхідного крутного моменту на привідному валу кривошипів для забезпечення процесу ущільнення виробів з будівельних сумішей із врахуванням жорсткості та коефіцієнта дисипації привідного механізму.

2. Для вказаної установки визначено значення жорсткості привідного механізму, зведеної до осі обертання кривошипів, при якому спостерігаються мінімальні навантаження у муфтах приводу.

3. Проаналізовано вплив кута зміщення кривошипів на динаміки установки. Встановлено, що мінімальні значення відхилень динамічної складової пружного моменту у муфті, відхилення різниць кутових координат, кутових швидкостей та кутових прискорень спостерігаються при значеннях кута зміщення кривошипів приводу близьких до $D_j = 90^\circ$.

Результати роботи можуть в подальшому бути корисними для уточнення та удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку привідних механізмів машин роликowego формування як на стадіях проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Гарнець В. М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси / В. М. Гарнець. Київ : Будівельник, 1991. 144 с.
2. Гарнець В. М. Бетоноформувальні агрегати. Конструктивно-функціональні схеми, принцип дії, основи теорії / В. М. Гарнець [та ін.]. – Київ : Інтерсервіс, 2015. – 238 с.
3. Кузин В. Н. Технология роликowego формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов : автореф. дис... канд. наук : спец. ?? / В. Н. Кузин. М., 1981. 20 с.
4. Рюшин В. Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликowego формования бетонных смесей : дис. канд. техн. наук / В. Т. Рюшин. – Киев, 1986. – 212 с.
5. Ловейкін В. С. Динамічний аналіз роликовой формовочної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. І-ї Міжнар. наук-техн. конф. (DSR AM-I). Тернопіль, 2004. – С. 507-514.
6. Ловейкін В. С. Результати експериментальних досліджень режимів руху роликовой формувальної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. П.Василенка. – Харків, 2007. – № 59, Том 1. – С. 465-474.
7. Ловейкін В. С. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликовой формувальної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : укр. міжвідом. наук-техн. зб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2007. – № 41. – С. 127-134.
8. Ловейкін В. С. Визначення навантажень в елементах роликowych формувальних установок / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 88 – С. 15-20.
9. Ловейкін В. С. Визначення навантажень в елементах роликовой формувальної установки / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Теорія і практика будівництва. – 2007. – № 3. – С. 19-23.
10. Ловейкін В. С. Дослідження динамічних навантажень в елементах роликowych формувальних установок / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “Vznik moderni vedecke – 2012”. Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie. – Praha : Education and Science, 2012. – Pp. 20-25.
11. Ловейкін В. С. Дослідження навантажень в елементах роликовой формувальної установки з врівноваженим приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : укр. міжвідом. наук-техн. зб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – Вип. 49. – С. 73-79.
12. Ловейкін В. С. Анализ динамического уравновешивания приводов машин роликowego формования / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, No 3. – P. 41-52.
13. Патент 67091 А, МПК В28В 13/00 (2006). Установка для формирования виробів з бетонних сумішей / Ловейкін В. С., Гарнець В. М., Почка К. І. – № u2003076371 ; заявл. 08.07.2003 ; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6.
14. Патент 70523 А, МПК В28В 13/00 (2006). Установка для формирования виробів з бетонних сумішей / Ловейкін В. С., Гарнець В. М., Почка К. І. – № u20031110814 ; заявл. 28.11.2003 ; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10.
15. Ловейкін В. С. Аналіз нерівномірності руху роликовой формовочної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Підйомно-транспортна техніка. – 2005. – Вип. 4. – С. 19-33.
16. Ловейкін В. С. Вплив кута зміщення кривошипів на нерівномірність руху роликовой формовочної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Техніка будівництва. – 2006. – № 18. – С. 12-22.
17. Электротехнический справочник: в 3 т. Т. 2. : Электротехнические изделия и устройства / Под ред. И. Н. Орлова [и др.]. – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 712 с.
18. Шейнблит А. Е. Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие для техникумов. / А. Е. Шейнблит. – М. : Высш. шк., 1991. – 432 с.
19. Дегтярев Ю. И. Методы оптимизации / Ю. И. Дегтярев. – М. : Советское радио, 1980. – 272 с.
20. Реклейтис Г. Оптимизация в технике : в 2-х кн. Кн. 1. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсел. – М. : Мир, 1986. – 352 с.
21. Ловейкін В. С. Динамічний аналіз роликовой формувальної установки із врахуванням дисипативних властивостей рекуперативного привідного механізму / В. С. Ловейкін, К. І. Почка, Ю. О. Ромасевич // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – Київ, 2018. – Вип. 282. – С. 44-61.

References

- 1.Harnets, VM 1991, Prohresyvnii betonoformuiuchi ahrehaty i komplekсы [Progressive units and complexes of formation of concrete], Budivelnik, Kyiv.
- 2.Harnets, VM et al. 2015, Betonofornuvalni ahrehaty. Konstruktyvno-funktsionalni skhemy, pryntsyp dii, osnovy teorii [Concrete the forming units. Constructive and functional to the scheme, principle of action, theory basis], Interservis, Kyiv.
- 3.Kuzin, VN 1981, 'Tehnologija rolikovogo formovaniya ploskikh izdeliy iz melkozemistyh betonov'[Technology of roller formation of flat articles from fine-grained concrete], Kand.???n. abstract, Moskva.
- 4.Rjushin, VT 1986, 'Issledovanie rabocheho processa i razrabotka metodiki rascheta mashin rolikovogo formovaniya betonnyh smesey' [Research of working process and development of a method of calculation of cars of roller formation of concrete mixes], Kand.tech.n thesis, Kiev.
- 5.Loveikin, VS & Pochka, KI 2004, 'Dynamichnyi analiz rolykovoi formovochnoi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom' [The dynamic analysis of roller forming installation with the recuperation drive], Dynamika, mitsnist i nadiinist silskohospodarskykh mashyn, Ternopil, pp. 507-514.
- 6.Loveikin, VS & Pochka, KI 2007, 'Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen rezhymiv rukhu rolykovoi formuvalnoi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom' [Results of pilot studies of the modes of the movement of roller forming installation with the recuperation drive], Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni P.Vasylenka, Kharkiv, no. 59, vol. 1, pp. 465-474.
- 7.Loveikin, VS & Pochka, KI 2007, 'Vyznachennia optymalnoho znachennia kuta zmishchennia kryvoshypiv rolykovoi formuvalnoi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom' [Determination of optimum value of a corner of shift of cranks of roller forming installation with the recuperation drive], Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni, Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, Lviv, no. 41, pp. 127-134.
- 8.Loveikin, VS & Pochka, KI 2008, 'Vyznachennia navantazhen v elementakh rolykovykh formuvalnykh ustanovok' [Definition of loadings in elements of roller forming installations], Zbirnyk naukovykh prats ?? название, Ukrainskyi derzhavnyi universytet zaliznychnoho transportu, Kharkiv, iss. 88, pp. 15-20.
- 9.Loveikin, VS & Pochka, KI 2007, 'Vyznachennia navantazhen v elementakh rolykovoi formuvalnoi ustanovky' [Definition of loadings in elements of roller forming installation], Teoriia i praktyka budivnytstva, no. 3, pp. 19-23.
- 10.Loveikin, VS & Pochka, KI 2012, 'Doslidzhennia dynamichnykh navantazhen v elementakh rolykovykh formuvalnykh ustanovok' [Research of dynamic loadings in elements of roller forming installations], Vznik moderni vedecke – 2012, Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie, Education and Science, Praha, pp. 20-25.
- 11.Loveikin, VS & Pochka, KI 2015, 'Doslidzhennia navantazhen v elementakh rolykovoi formuvalnoi ustanovky z vrivno-vazhenym pryvodom' [Research of loadings in elements of roller forming installation with the balanced drive], Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni, Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, Lviv, iss. 49, pp. 73-79.
- 12.Loveikin, VS & Pochka, KI 2016, 'Analiz dinamicheskogo uravnovesivaniya privodov mashin rolikovogo formovaniya' [Analysis of dynamic equilibration of drives of cars of roller formation], MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin-Rzeszow, vol. 18, no. 3, pp. 41-52.
- 13.Loveikin, VS, Harnets, VM & Pochka, KI 2004, Ustanovka dlia formuvannya vyrobiv z betonnykh sumishei, Patent 67091 A.
- 14.Loveikin, VS, Harnets, VM & Pochka, KI 2004, Ustanovka dlia formuvannya vyrobiv z betonnykh sumishei, Patent 70523 A.
- 15.Loveikin, VS & Pochka, KI 2005, 'Analiz nerivnomimosti rukhu rolykovoi formovochnoi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom' [Analysis of unevenness of the movement of roller forming installation with the recovery drive], Pidomno-transportna tekhnika, iss. 4, pp. 19-33.
- 16.Loveikin, VS & Pochka, KI 2006, 'Vplyv kuta zmishchennia kryvoshypiv na nerivnomimist rukhu rolykovoi formovochnoi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom' [Influence of a corner of shift of cranks on unevenness of the movement of roller forming installation with the recuperation drive], Tekhnika budivnytstva, no. 18, pp. 12-22.
- 17.Orlov, IN et al. (eds.) 1986, Jeletrotehnicheskij spravochnik, vol. 2 Jeletrotehnicheskije izdelija i ustrojstva [Electrotechnical reference book of T. 2. Electrotechnical products and devices], 7th edn, Jenergoatomizdat, Moskva.
- 18.Shejnbliit, AE 1991, Kursovoe proektirovanie detalej mashin [Course design of details of cars: Manual for technical schools], Vysshaja shkola, Moskva.
- 19.Degtjarev, JuI 1980, Metody optimizacii [Optimization methods], Sovetskoe radio, Moskva.
- 20.Reklejtis, G, Rejvindran, A Rjagsdel, K 1986, Optimizacija v tehnikе [Optimization in the equipment], book 1, Mir, Moskva.
- 21.Loveikin, VS, Pochka, KI & Romasevych, YuO 2018, 'Dynamichnyi analiz rolykovoi formuvalnoi ustanovky iz vrakhu-vanniam dysypatyvnykh vlastyvoستي rekuperatsiynoho pryvodnoho mekhanizmu' [Dynamic analysis of roller forming installation taking into account dissipative properties of the recuperation driving mechanism], Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy, Seriya Tekhnika ta enerhetyka APK, Kyiv, iss. 282, pp. 44-61.

Стаття надійшла до редакції 15 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-72-80

УДК 621.97.07

**К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ
ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И ПРЕССОВАНИЯ**

©Агарков В.В.¹, Ясько С.Г.², Фролов Е.А.², Дерябкина Е.С.³

Державне підприємство "Харківстандартметрологія"¹,

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка²,

Українська інженерно-педагогічна академія³

Інформація про авторів:

Агарков Віктор Васильович: ORCID 0000-0001-9883-0480, 290@mti.kharkov.ua; кандидат технічних наук, заст. директора лабораторії, Державне підприємство "Харківстандартметрологія", вул. Мироносицька, 36, м. Харків, 61003, Україна.

Ясько Станіслав Григорович: ORCID 0000-0001-6228-705X, s.g.yasko@gmail.com; ст. викладач кафедри технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна.

Фролов Євгеній Андрійович: ORCID 0000-0002-9415-1066, naumova_olga1@mail.ru; доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна.

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: ORCID 0000-0002-5531-0124, 216464@mail.ru, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Розглянуто методологію автоматизованого проектування переналагоджуваної технологічної оснастки для листового штампування й пресування (переналагоджувані штампи і прес-форми для термопласт-автоматів і ливарних машин) на прикладі розробленого технологічного процесу виготовлення виливки корпусної деталі з використанням наскрізного комп'ютерного проектування на основі CAD / CAM систем проаналізовано досвід по проектування і виготовлення технологічного оснащення, зокрема переналагоджуваних штамків і прес-форм. Порівняння базового і спроектованого варіанта показало скорочення термінів у всіх етапах впровадження у виробництво (від проектування до виготовлення готового виробу) в 3-5 разів. Отримані дані досліджень процесу лиття та охолодження, а також експлуатаційних напружень і деформацій на корпус деталі дають можливість підвищити якість готових виробів і знизити кількість вибракуваних деталей. Результатом виконання даного проекту стало впровадження розробок у виробництво на ВАТ «ПААЗ» м Полтава.

Ключові слова: автоматизоване проектування, переналагоджувані штамп, прес-форма, програмне забезпечення.

Агарков В.В., Ясько С.Г., Фролов Е.А., Дерябкина Е.С. «К вопросу автоматизированного проектирования переналаживаемой технологической оснастки для листовой штамповки и прессования».

Рассмотрена методология автоматизированного проектирования переналаживаемой технологической оснастки для листовой штамповки и прессования (переналаживаемые штампы и пресс-формы для термопласт-автоматов и литейных машин) на примере разработанного технологического процесса изготовления отливки корпусной детали с использованием сквозного компьютерного проектирования на основе CAD/CAM систем, проанализирован опыт по проектированию и изготовлению технологической оснастки, в частности переналаживаемых штампов и пресс-форм. Сравнение базового и спроектированного варианта показало сокращения сроков во всех этапах внедрения в производство (от проектирования до изготовления готового изделия) в 3-5 раз. Полученные данные исследований процесса литья и остывания, а также эксплуатационных напряжений и деформаций на корпус детали дают возможность повысить качество готовых изделий и снизить количество отбракованных деталей. Результатом выполнения данного проекта стало внедрение разработок в производство на ОАО «ПААЗ» г. Полтава.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, переналаживаемый штамп, пресс-форма, программное обеспечение.

Agarkov V., Yasko S., Frolov E., Deryabkina E. «To the problem of computer-aided design of a retoolable tooling for sheet punching and pressing»

The methodology of computer-aided design of a retoolable tooling for sheet metal stamping and pressing (adjustable molds and molds for thermoplastic automata and casting machines) is considered in the example of the developed technological process for manufacturing a casting of a body component using end-to-end computer design based on CAD / CAM systems. designing and manufacturing of technological equipment, in particular adjustable molds and molds. Comparison of the basic and projected version showed a reduction of 3-5 times in all stages of introduction into production (from design to manufacturing of the finished product). The obtained data of research of the process of casting and cooling, as well as operational stresses and strains on the body of the part make it possible to improve the quality of finished products and reduce the number of rejected parts. The result of the implementation of this project was the introduction of developments in production at JSC PAAZ (Poltava).

Keywords: computer-aided design, readjustable stamp, mold, software.

1. Введение

Основой подготовки выпуска новой продукции на предприятиях является технологическая подготовка производства – самый долговременный и затратный процесс. Проектирование и изготовление технологической оснастки составляет 65-75% от стоимости затрат, связанных с освоением выпуска новой продукции. Поэтому применение средств, позволяющих существенно сократить время, а значит и затраты на подготовку производства, особенно в современных условиях жесткой конкуренции, является первоочередной задачей для обеспечения стабильной деятельности предприятия.

2. Постановка проблемы

Именно в условиях жесткой конкуренции приходит понимание того, что система автоматизированного проектирования и изготовления переналаживаемой оснастки для листового штампования и прессования является одним из условий решения данной задачи [1]. Кроме того, большое значение приобретает подготовка на предприятии квалифицированных кадров для работы с программами САПР [1,2].

Целью работы является изучение выхода из ситуации, когда у предприятия есть богатый опыт по проектированию и изготовлению технологической оснастки, в частности переналаживаемых штампов и пресс-форм, но нет достаточно средств, чтобы приобрести имеющиеся компьютерные программы по автоматизированному проектированию, в дальнейшем САПР, или возможности по разработке программ для развития собственного производства.

3. Основной материал

Сутью использования программных продуктов автоматизированного проектирования есть максимальное использование решений, полученных в ходе развития конструкторской и технологической мысли, а также стандартных элементов и стандартных конструкций, собранных в библиотеки элементов и конструкций переналаживаемых штампов и пресс-форм [3 – 5]. Одной из особенно полезных возможностей при этом является параметризация трехмерных моделей, которая позволяет задавать и связывать между собой алгебраическими функциями геометрические параметры модели.

В настоящее время приобретение компьютерной техники с техническими характеристиками, позволяющими работать с современными программами, при наличии средств у предприятия, не составляет большой проблемы. В тоже время стоимость систем САПР является значительной. В связи с постоянным развитием этих систем необходимо постоянное обновление программного обеспечения, что в свою очередь приводит к дополнительным затратам на его приобретение и обучение пользователей. При проектировании технологической оснастки во многих случаях функциональные возможности САПР используются не в полной мере, что снижает экономический эффект от применения этих систем. Так же существует проблема совместимости форматов моделей не только между САПР разных разработчиков, но и между версиями САПР одного разработчика.

Выходом из создавшегося положения, с нашей точки зрения, является использование подписки на программные продукты. Подписка позволяет клиентам приобретать срочные лицензии на программные продукты в соответствии с индивидуальными условиями, определяемыми бюджетом и бизнес-потребностями. Годовые и многолетние предложения обеспечивают экономию при долгосрочном использовании программного обеспечения, а месячные подписки идеально подходят для краткосрочных нужд в рамках работы над конкретным проектом или найма временных сотрудников. Опыт проектирования оснастки, в частности

штампов и пресс-форм с использованием САПР лидеров в области разработки решений для 3D-проектирования, например, компании Autodesk (Inventor, Fusion 360) показывает, что обучение выполнению проектирования на компьютере длится не более 1-2х месяцев. За это время конструктор осваивает 2D, 3D - проектирование, позволяющее выполнять чертежи штампов и пресс-форм, а также любой другой оснастки за более короткое время и с высокой точностью.

Autodesk Inventor — система трёхмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования компании Autodesk, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Инструменты Inventor обеспечивают полный цикл проектирования и создания конструкторской документации: 2D-/3D-моделирование.

Autodesk Fusion 360 – это САПР нового поколения. Программный продукт представляет собой средство 3D-проектирования и разработки изделий на основе облачных технологий, в котором сочетаются возможности совместной работы, цифрового проектирования и механической обработки в одном пакете. Fusion 360 позволяет быстро и без труда изучать проектные идеи с помощью первой в мире интегрированной платформы, охватывающей все этапы от разработки концепции до стадии производства.

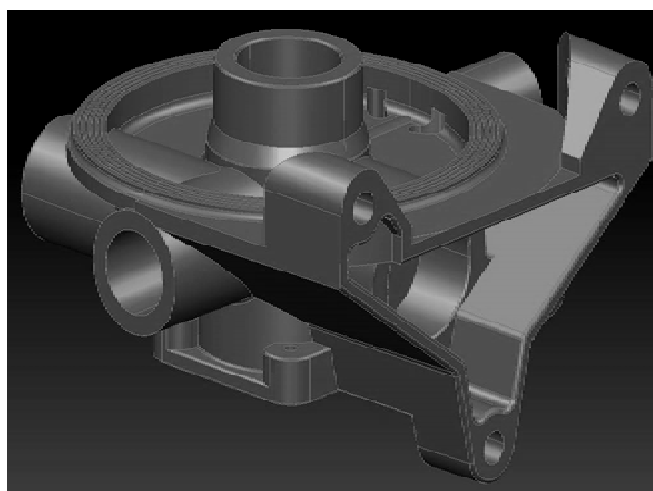


Рис.1 - Литая заготовка и модель детали «Корпус адсорбера».

Начальным этапом перед проектированием оснастки является получение готовой трехмерной модели изделия или самостоятельное моделирование по чертежам или моделирование методом обратного инжиниринга (рис. 1). Затем приступают к проектированию оснастки (рис. 2).

С момента начала проектирования первой единицы оснастки, в частности штампа или пресс-формы, начинается создание собственной библиотеки конструкций проектируемой оснастки, а также библиотеки стандартных элементов, таких, как втулки, колонки, толкате-

ли, выталкиватели и прочих элементов. Это позволяет в дальнейшем использовать заранее подготовленные, или ранее использованные конструкции, элементы конструкций в последующих проектируемых штампах и пресс-формах. Даже используя вышеуказанный способ проектирования оснастки, который не полной мерой соответствует идеологии САПР, разработчик при приобретении достаточных навыков в использовании программ, повышает свою производительность не менее чем на 30-40%.

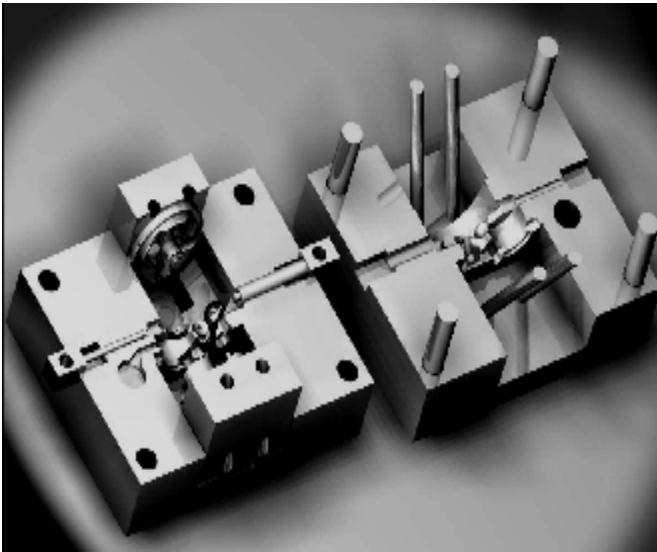


Рис. 2 - Модели подвижной и неподвижной плит пресс-формы.

Кроме повышения производительности труда повышается качество проектирования оснастки, заключающееся в том, что после создания модели формуемой детали с учетом усадки и определения исходных данных, таких как габаритные размеры пресс-формы и необходимое оборудование, конструктор как и при обычном проектировании обрисовывает формирующими элементами, т.е. матрицей, пуансоном, знаками и прочими элементами необходимыми для формования и извлечения детали из пресс-формы.

При этом параметризация моделей и использование скриптов позволяет вносить сквозные изменения вплоть до разработки управляющих программ станочного оборудования для производства пресс-форм и штамповой оснастки. Существующее программное обеспечение обладает возможностью ассоциативного влияния на изменения в конструкции при изменении конфигурации или размера какой-либо детали штампа или пресс-формы, выбранной из библиотек программы, либо новой разрабатываемой конструкции – изменяются размеры и конфигурация деталей, взаимодействующих с изменяемой. Если данное изменение ведет к нарушению основных или исходных параметров оснастки выдается предупреждение о несоответствии.

В настоящее время просматривается некая общая тенденция, общее направление у разработчиков программ для проектирования технологической оснастки – это создание обширных библиотек конструкций, в частности, штампов и пресс-форм.

Следующим этапом проектирования оснастки является сборочных моделей, которое возможно с применением объемных вышеуказанных программ. Объемный, способ проекти-

рования очень эффективен, т.к. конструктор может увидеть и проверить работоспособность конструкции.

В частности, программы (Inventor, Fusion 360) позволяют имитировать работу пресс-формы на ТИЛ (термопласт-автомате), и особенно это наглядно видно при имитации работы пресс-формы с ползунами (клиновые формы). Конструктор видит перемещения и стыковку (либо нестыковку) формующей и выталкивающих систем формы. Также имеется возможность моделировать механическую обработку на оборудовании с программным управлением с получением кода управляющих программ для этого оборудования (рис. 3).

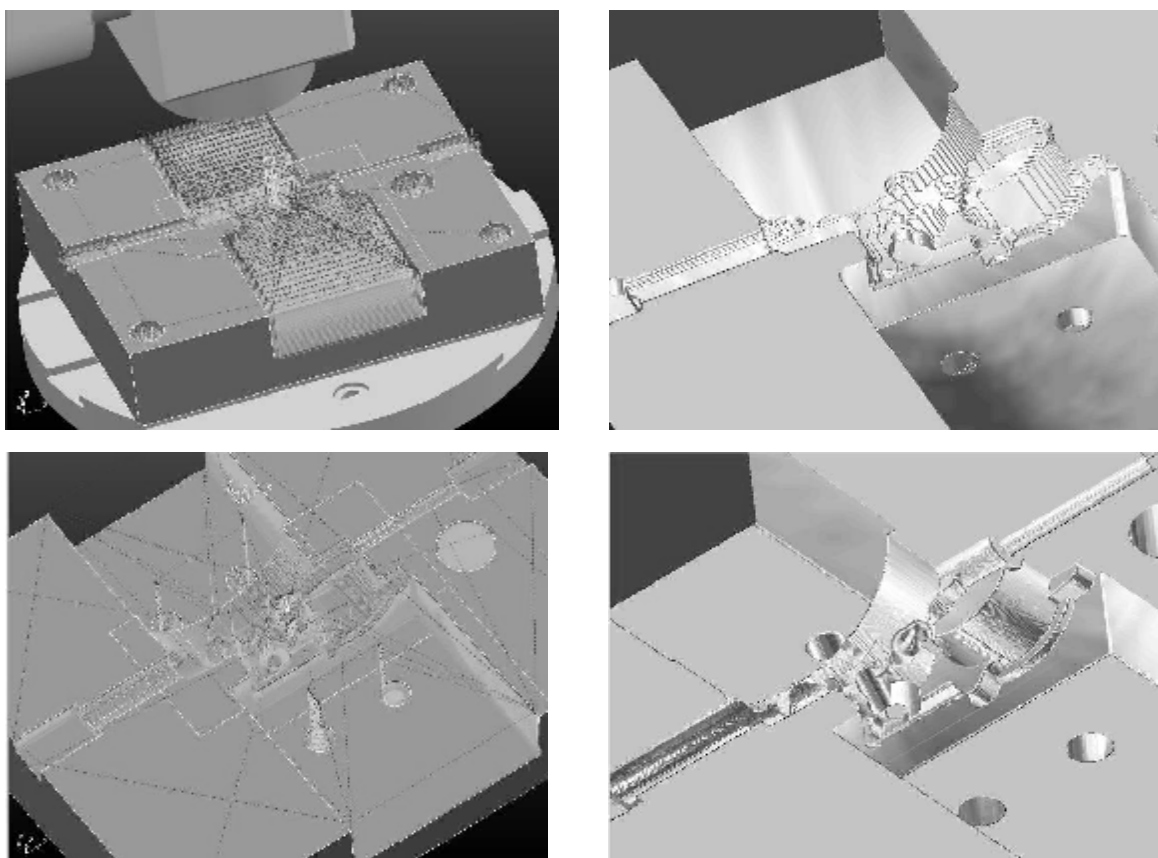


Рис. 3 - Моделирование мехобработки подвижной плиты в PowerMILL Autodesk.

Одна из основных проблем получения качественных литых изделий – грубая литейная технология, разрабатываемая технологами-литейщиками. Исходя из нашего практического опыта, в зависимости от метода литья, сложности получаемого изделия количество бракованных отливок на стадии отработки литейной технологии варьируется от 10 до 90%. В некоторых случаях брак, связанный с усадочными раковинами, отсутствует. Однако в этом случае, выход годного не превышает 20-25%. Решить обозначенную проблему позволяют системы компьютерного моделирования литейных процессов (рис. 4-6).

LVMFlow – это мощный инструмент технолога-литейщика и "литейная" программа с поддержкой многопроцессорных и многоядерных платформ, которая обеспечивает пользователю потрясающую производительность на "обычных" компьютерах.

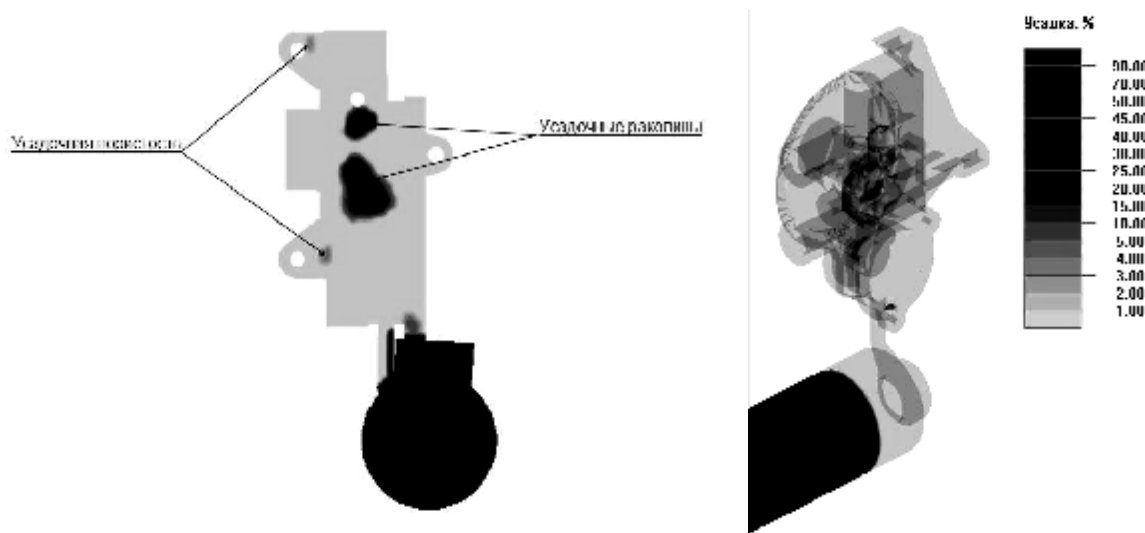


Рис. 4- Моделирование областей с усадочными дефектами.

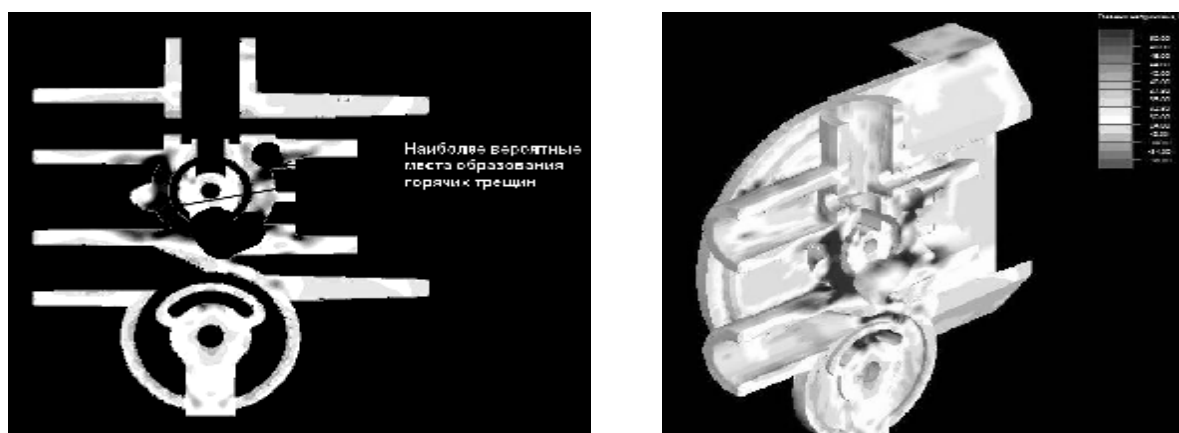


Рис. 5 - Моделирование областей горячего трещинообразования.

Система предлагает широкий набор инструментов для моделирования, исследования и создания оптимальной литейной технологии. Модульная структура позволяет быстро и удобно адаптировать и настроить систему к условиям любого производства. Это позволяет значительно удешевить и ускорить исследовательскую работу по проектированию и разработке технологии производства отливок. Она широко используется в учебных заведениях при подготовке квалифицированного персонала для литейных производств. LVMFlow CV основана на методе контрольных объемов, позволяющем точно воспроизвести сложную тон-

костенную геометрию отливки и при этом обеспечить высокую скорость расчета (~5-10 мин на один расчет).

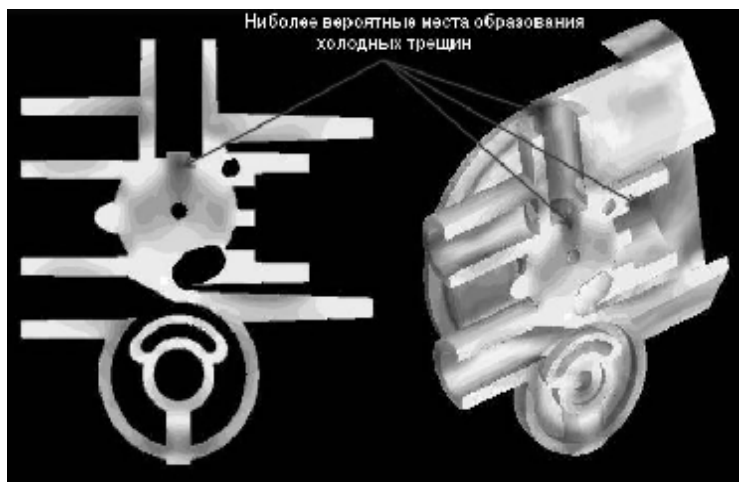


Рис. 6 - Моделирование областей холодного трещинообразования.

LVMFlow учитывает: дозаливку (подкачку) формы, заливку из много стопорных ковшей, тип заливочных ковшей, моделирование теплоэлектронагревателей, моделирование каналов охлаждения, моделирование фильтров, противопригарные покрытия, цикличность кокилей, предварительный прогрев кокилей, разработку технологии ЛПД, расчет ЛПС.

Применение этой и аналогичных систем позволяет проследить: заполнение формы металлом, объемное затвердевание отливки, формирование усадочных дефектов, образование микропористости, прогнозирование недоливов, образование трещин и деформацию отливки, линейную усадку отливки, температурные поля отливки и формы, движение шлаковых частиц, захват воздуха в процессе заливки. Вышеуказанная система может быть использована для моделирования следующих способов литья: литье в землю (ПГФ, ХТС, ЖСС и др.), литье в кокиль (учет всех особенностей способа), литье по выплавляемым моделям, литье под высоким и низким давлением (отдельный модуль разработки технологии), литье в изложницу, литье по газифицируемым моделям.

Выводы.

В данной работе на примере разработанного технологического процесса изготовления отливки корпуса адсорбера с использованием сквозного компьютерного проектирования на основе CAD/CAM систем проанализирован опыт по проектированию и изготовлению технологической оснастки, в частности переналаживаемых штампов и пресс-форм. Сравнение базового и спроектированного варианта показало сокращения сроков во всех этапах внедрения в производство (от проектирования до изготовления готового изделия) в 3-5 раз. Полученные данные исследований процесса литья и остывания, а также эксплуатационных напряжений и деформаций на корпус детали дают возможность повысить качество готовых изделий и снизить количество отбракованных деталей. Результатом выполнения данного проекта стало реальное внедрение разработок в производство на ОАО «ПААЗ» г. Полтава.

Список использованных источников:

1. Гаврилов А. А. Универсальные переналаживаемые пресс-формы для термопластавтоматов / А. А. Гаврилов // Науч.-практич. журнал «Прогрессивные виды универсальной сборной переналаживаемой оснастки» – К. Информатика. –1988. – Вып. 4. – С. 40–50.
2. Резниченко Н.К. Универсально-сборные переналаживаемые штампы для листовой штамповки / Н.К. Резниченко, Г.И. Ищенко, В.В. Агарков, А.Я. Мовшович // Вісник інженерної академії України: теор. і наук.-практич. журнал Інжен. акад. України. – Вип. 3. –К., 2011. – С. 95 – 98.
3. Математика и САПР: в. 2-х кн. / П. Шенен, М. Коснар, И. Гардан и др. – Мир. – 1988. – Кн. 1. – 204 с.
4. Математика и САПР: в 2-х кн. / П. Жермен-Лакур, П.Л. Жорж, Ф. Пистр, П. Безье. – М.: Мир. – 1989. – Кн. 2 – 264 с.
5. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. - СПб.: Питер, 2004.- 560 с.

References

1. Gavrilo, AA Universalnyye perenalazhivayemye press-formy dlya termoplastavtomatov / A. A. Gavrilo // *Nauch.-praktich. zhurnal «Progressivnyye vidy universalnoy sbornoy perenalazhivayemoy osnastki»* – K. Informatika. –1988. – no. 4. – pp. 40–50
2. Reznichenko, NK Universalno-sbornyye perenalazhivayemye shtampy dlya listovoy shtampovki / N.K. Reznichenko, G.I. Ishchenko, V.V. Agarkov, A.Ya. Movshovich // *Visnik inzhenernoї akademii Ukraїni: teor. i nauk.-praktich. zhurnal Inzhen. akad. Ukraїni.* – no. 3. –K. 2011. – pp. 95 – 98.
3. Matematika i SAPR: v. 2-ch. / P. Shenen, M. Kosnar, I. Gardan i dr. – Mir. – 1988. – Kn. 1. – 204 p.
4. Matematika i SAPR: v 2- ch. / P. Zhermen-Lakur, P.L. Zhorzh, F. Pistr, P. Bezye. – M.: Mir. – 1989. – Kn. 2 – 264 p.
5. Li K. Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE) / K. Li. - SPb.: Piter. 2004.- 560 p.

Стаття надійшла до редакції 24 вересня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-81-85

УДК 655.3.021

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛИГРАФИИ

©Гордеев А. С.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Гордєєв Андрій Сергійович: ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри інформаційних комп'ютерних і поліграфічних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою роботи є розгляд методів практичного впровадження серії стандартів ISO 9000 до вирішення проблем якості друкованої продукції.

Поліграфічна галузь характеризується переходом на сучасному етапі до відкритих репродукційним системам. Констатація цього факту і його технологічні наслідки обговорюються у великій кількості спеціалізованих, наукових і популярних видань. Загальноприйняті підходи до вирішення проблем якості друкованої продукції на основі концепції управління викладені в серії стандартів ISO 9000. З іншого боку процедура стандартизації сильно відстає від темпів науково-технічного прогресу. Стандарти виходять вже морально застарілими. Їх використання у виробництві сильно обмежена.

Виконання вимог ISO серії 9000: 2000 не забезпечує стовідсоткової гарантії якості друкованої продукції, але гарантовано усуває недоліки виробничого процесу, які впливають на якість продукції, що випускається. Аналіз зарубіжного досвіду показує, що всеосяжна система управління якістю дозволяє вирішити обмежена кількість проблем (приблизно 30%), з якими доводиться стикатися друкарням.

Ключові слова: стандартизація, якість, репродукційні системи, системи управління, триадні фарби.

Гордеев А.С. «Стандартизация технологических процессов в полиграфии»

Целью работы является рассмотрение методов практического внедрения серии стандартов ИСО 9000 к решению проблем качества печатной продукции.

Полиграфическая отрасль характеризуется переходом на современном этапе к открытым репродукционным системам. Констатация данного факта и его технологические последствия обсуждаются в большом количестве специализированных, научных и популярных изданий. Общепринятые подходы к решению проблем качества печатной продукции на основе концепции управления изложены в серии стандартов ИСО 9000. С другой стороны процедура стандартизации сильно отстает от темпов научно-технического прогресса. Стандарты выходят уже морально устаревшими. Их использование в производстве сильно ограничено.

Выполнение требований ISO серии 9000: 2000 не обеспечивает стопроцентной гарантии качества печатной продукции, но гарантированно устраняет недочеты производственного процесса, которые влияют на качество выпускаемой продукции. Анализ зарубежного опыта показывает, что всеобъемлющая система управления качеством позволяет решить

ограниченное количество проблем (примерно 30%), с которыми приходится сталкиваться типографиям.

Ключевые слова: стандартизация, качество, репродукционные системы, системы управления, триадные краски.

Gordeev A.S. «Standardization of technological processes in polygraphy»

The purpose of the work is to consider the methods of practical implementation of the ISO 9000 series of standards to address printing quality problems.

The printing industry is characterized by the transition at the present stage to open reproductive systems. The statement of this fact and its technological consequences are discussed in a large number of specialized, scientific and popular publications. Common approaches to solving the problems of the quality of printed products based on the management concept are set out in the ISO 9000 series of standards. On the other hand, the standardization procedure lags far behind the pace of scientific and technological progress. Standards are already morally obsolete. Their use in production is severely limited.

Meeting the requirements of the ISO 9000: 2000 series does not guarantee a 100% guarantee of the quality of printed products, but it ensures that the manufacturing process defects that affect the quality of the products are guaranteed. An analysis of foreign experience shows that a comprehensive quality management system allows to solve a limited number of problems (about 30%) that typographers face.

Key words: standardization, quality, reproductive systems, control systems, triadic paints.

1. Введение

Стандартизация является одним из методов управления качеством печатной продукции. Однако в полиграфическом производстве часто возникают ситуации некорректного использования нормативных документов. Это связано со спецификой производства и отличия реального производственного потенциала от декларируемого в стандартах.

Полиграфическая отрасль характеризуется переходом на современном этапе к открытым репродукционным системам. Констатация данного факта и его технологические последствия обсуждаются в большом количестве специализированных, научных и популярных изданий [3–5], при этом можно отметить единодушие различных авторов по вопросу острой необходимости стандартизации параметров репродукционных процессов.

Общепринятые подходы к решению проблем качества печатной продукции на основе концепции управления изложены в серии стандартов ИСО 9000. Вопросы практического внедрения этой серии стандартов в полиграфической отрасли рассматривались в серии работ [1-3]. С другой стороны процедура стандартизации сильно отстает от темпов научно-технического прогресса. Стандарты выходят уже морально устаревшими. Их использование в производстве сильно ограничено. В-третьих, стандарты описывают узкую часть печатного процесса. Так, все стандарты для глубокой и флексографской печати содержат только данные по триадным краскам (СМУК), которые в последнее время вытесняются смесевыми. Определенную долю влияние на качество печатной продукции, вносит несогласованность в значениях измерений образ-

цов одними и теми же контрольно-измерительными приборами. Это возникает из-за различия трактовок в национальных стандартах. Например, разница в изготовлении пакетиков кофе Nestle в разных странах настолько видна, что идентификация продукции иногда становится невозможной.

Было-бы не правильно не отметив положительные черты стандартизации. Стандарты это, прежде всего юридическое основание решения спорных вопросов между производителем и потребителем. Стандартизация позволяет связать воедино все звенья производственной цепи, проводить документирование технологического процесса времени его выполнения и нормам расхода материалов. Кроме этого хочется отметить, что внедрение систем управления цветом Color management возможно только на базе стандартизации полиграфических процессов. Это также касается и систем CIP / PDF-X.

2. Система стандартизации технологических процессов

Основными стандартами управления качеством, являются стандарты ISO Международной организации по стандартизации: ISO 12647-1: 2004 – Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, контрольных и тиражных оттисков - Часть 1: Параметры и методы измерений; ISO 12647-2: 2004 - Управление процессами производства пробных отпечатков и печатных форм методом полутонового цветоделения. – Часть 2: Офсетные литографические процессы; ISO 12647-3: 2005 – Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. - Часть 3. Схватывающаяся при охлаждении офсетная печать на газетной бумаге; ISO 12647-4: 2005 - Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. - Часть 4. Печать гравюр для публикации; ISO 12647-5: 2001 - Технология полиграфии. Управление технологическим процессом при изготовлении растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. - Часть 5. Растровая печать; ISO 12647-6: 2006 - Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. Часть 6. Флексография; ISO 12647-7: 2007 - Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. Часть 7. Получение пробных оттисков непосредственно по цифровым данным.

Международные стандарты разрабатываются комитетом по стандартизации Германии DIN, а именно техническим комитетом GT 130 (Graphic technology). Активными членами комитета являются США, Германия, Англия, Украина, Италия, Япония. Всего 18 стран и 20 стран наблюдателей.

Наряду с международными стандартами для полиграфического производства, действуют национальные стандарты. Так в США действуют стандарты: SWOP (Specifications for Web Offset Publications) – рассматриваются технологии рулонной печати с последующей сушкой; GRACoL (General Requirements and Applications for Commercial offset Lithography) – рассматриваются технологии офсетной листовой печати; SNAP (Specifications for Newsprint Advertising Production) – рассматриваются технологии рулонной печати без сушки. В Японии широко используется стандарт JISC (Japanese Industrial Standards Committee), который регламентирует работу полиграфической индустрии и разработку собственных нормативных до-

кументов с учетом международных данных. В Украине, к сожалению, разработка стандартов полиграфической отрасли практически не проводится. Проводится в основном перевод международных стандартов на украинский язык.

Между национальными и международными стандартами существуют различия. Сравнивая американские стандарты со стандартам ISO, можно отметить: полная сходимость многих параметров - это и набор красок, и характеристики СМΥК, и свойства запечатываемого материала. Основные отличия лежат в параметрах растискивания и балансе по серому. Так GRACoL в своей спецификации предусматривает отклонения колориметрических значений при печати красками СМΥК, соответствующих стандарту ISO 12647-2, при этом достигается наилучший баланс по серому. Методы контроля качества напрямую зависят от контрольно-измерительной аппаратуры (КИП). Современные полиграфические стандарты, разрабатываются с учетом колориметрической оценки. В противовес старым которые базировались на денситометрических показателях. Основными причинами этого стало связывание цветопробы с тиражным оттиском. Кроме того появились более насыщенные краски, которые трудно правильно определять с помощью денситометрических фильтров. На неоднозначность измерений оказывает влияние наличие как трех стандартов на оптические характеристики фильтров - Status E, I и T. Наличие этих трех стандартов делает сравнение отпечатков, напечатанных, например, в Германии (Status E) и США (Status T), затруднительным. В табл. 1 приведены значения справочных данных стандарта ISO 12647-3.

Таблица 1 – Различия в стандартах на оптические характеристики фильтров

Краска	ISO Status E, измерения относительно подложки, поляризационный фильтр	ISO Status T, «абсолютные» измерения, без фильтра
Cyan	0,90	0,90
Magenta	0,90	0,90
Yellow	0,90	0,85
Black	1,10	1,05

Как видно из таблицы, при отклонениях от выше приведенных параметров невозможно достичь одинаковых значений плотности. К сожалению, при измерении цвета не существует прямой связи между координатами Lab и оптической плотностью. Это заставляет широко использовать спектрофотометры. Спектрофотометры позволяют производить как колориметрические оценки, так и денситометрические, в том числе и для смесевых красок.

Использование контрольно-измерительной аппаратуры значительно упрощает оценку результатов. Этого часто не достаточно в случае применения смесевых красок. Зачастую воспроизведение чистого красного цвета на различных запечатываемых материалах будет происходить по-разному. Основные причины это: физические свойства поверхности и прозрачность краски. Поэтому приведение к общему знаменателю разнородных по свойствам материалов не является оправданным. Чистый красный цвет не описан ни в одном из стандартов, однако нужно его воспроизведения с минимально возможными допусками.

Выполнение требований ISO серии 9000: 2000 не обеспечивает стопроцентной гарантии качества печатной продукции, но гарантированно устраняет недочеты производственного процесса, которые влияют на качество выпускаемой продукции. Анализ зарубежного

опыта показывает, что всеобъемлющая система управления качеством позволяет решить ограниченное количество проблем (примерно 30%), с которыми приходится сталкиваться типографиям. В 2003 году было выдвинуто предложение проводить добровольную сертификацию не систем управления, а непосредственно качества выпускаемой полиграфической продукции - PSO (Process Standard Offset Printing). Инициаторами данного предложения выступили ведущий немецкий научно-исследовательский институт ФОГРА (FOGRA) совместно со швейцарским Угра (UGRA). За основу были взяты стандарты на выпуск продукции офсетной печати из общего раздела стандартов для различных способов печати ISO 12647-2, ISO 12647-3, а также стандарт на цветопробы ISO 12647-7. Процесс сертификации допускает возможность сертификации как допечатной подготовки производства, так и печатной стадии, включая рулонные офсетные машины.

Предприятие не имеющее сертификата FOGRA, особенно в Германии, не только теряет конкурентное преимущество, но и не допускается к государственным тендерам и не рассматривается как компания, способная обеспечить устойчивое развитие и гарантированное качество при размещении заказов мировых брендов (например Procter & Gamble, Mars, Philip Morris, Nestle и т.п.).

Выводы

Рассмотренные методы сертификации являются лишь концептами, призванными акцентировать внимание на моменте управления качеством. Разработка реальных сертификационных требований — дело сложное и требует согласования взаимосвязи всех звеньев производственной цепи. Этот подход позволит избежать дополнительных расходов по приведению производства до определенного уровня.

Список использованных источников:

1. Неустроев О. Л. Перехід до міжнародних і європейських стандартів у галузі промисловості – шлях цивілізованого входження України до світової організації торгівлі з метою підвищення якості життя / О. Л. Неустроев // Інформаційний бюлетень Мінпромполітики України з стандартизації, метрології та управління якістю. – 2004. – № 31. – С. 2-4.
2. Науменко П. О. Упровадження міжнародних стандартів ISO 9001:2000 і сертифікація систем управління якістю / П. О. Науменко // Інформаційний бюлетень Мінпромполітики України з стандартизації, метрології та управління якістю. – 2004. – № 31. – С.12.
3. Боженко Л. І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація / Л. І. Боженко. – Львів : УАД, 2004. – 20 с.
4. Гавенко С. Ф. Стандарти у видавничо-поліграфічній галузі / С. Ф. Гавенко. – Львів : УАД, 2006. – 140с.
5. Ткаченко В. П. Основи метрології, стандартизації та управління якістю : навч. посіб. / В. П. Ткаченко, Л. І. Цимбал. – Харків : ХНУРЕ, 2005. – 180 с.

References

1. Neustroiev, OL 2004, 'Perekhid do mizhnarodnykh i yevropeiskyykh standartiv u haluzi promyslovosti – shliakh tsyvilizovanoho vkhodzhennia Ukrainy do svitovoi orhanizatsii torhovli z metoiu pidvyshchennia yakosti zhyttia', *Informatsiinyi biuleten Minprompolityky Ukrainy z standartyzatsii, metrolohii ta upravlinnia yakistiu*, no. 31, pp. 2-4.
2. Naumenko, PO 2004, 'Uprovadzhennia mizhnarodnykh standartiv ISO 9001:2000 i sertyfikatsiia system upravlinnia yakistiu', *Informatsiinyi biuleten Minprompolityky Ukrainy z standartyzatsii, metrolohii ta upravlinnia yakistiu*, no. 31, pp.12.
3. Bozhenko, LI 2004, *Metrolohiia, standartyzatsiia, sertyfikatsiia ta akredyatsiia*, Ukrainska akademiia drukarstva, Lviv.
4. Havenko, SF 2006, *Standarty u vydavnycho-polihrafichnii haluzi*, Ukrainska akademiia drukarstva, Lviv.
5. Tkachenko, VP & Tsymbal, LI 2005, *Osnovy metrolohii, standartyzatsii ta upravlinnia yakistiu*, Kharkivskiy natsionalnyi universytet radioelektroniky, Kharkiv.

Стаття надійшла до редакції 24 вересня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-86-92

УДК 621.791.92

ВЫБОР СПОСОБА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

©Дерябкина Е.С., Огер В.В.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Інформація про авторів:

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124, 216464 @ mail.ru, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Огер Віталій Володимирович: ORCID: 0000-0001-8008-7166; 216464 @ mail.ru; студент факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій в виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Встановлено, що ресурс відремонтованої техніки в умовах реальної експлуатації становить не більше 50% у порівнянні з новою, швидкість зношування деталей після ремонту зростає в 1,8 рази, що зумовлено більш низьким рівнем якості відремонтованих деталей в порівнянні з новими. Аналіз літератури показав, що найбільш доступним і широко використовуваним способом в практиці машинобудівних і сільськогосподарських підприємств різного масштабу є газополуменеве напилювання, яке серед методів газотермічного напилення покриттів є найпростішим і низьковартісним.

Встановлено, що перспективним способом підготовки поверхні під напилення, є механічна обробка щітковим інструментом.

Розроблено технологічний процес відновлення і зміцнення зношених циліндричних поверхонь деталей газополуменевим напиленням, на основі якої виготовлені ремонтні деталі і виконані виробничі випробування. Досягнуто підвищення зносостійкості в 1,35-1,37 рази у порівнянні з деталями, виготовленими за традиційною технологією.

Ключові слова: відновлені деталі, зносостійкість, газополуменеве напилювання, щеточная обробка, технологічний процес.

Дерябкина Е.С., Огер В.В. «Выбор способа и разработка технологии восстановления деталей автотракторной техники».

Установлено, что ресурс отремонтированной техники в условиях реальной эксплуатации составляет не более 50% по сравнению с новой, скорость изнашивания деталей после ремонта возрастает в 1,8 раза, что обусловлено более низким уровнем качества отремонтированных деталей по сравнению с новыми. Анализ литературы показал, что наиболее доступным и широко используемым способом в практике машиностроительных и сельскохозяйственных предприятий различного масштаба является газопламенное напыление, которое среди методов газотермического напыления покрытий является самым простым и низкостойким.

Установлено, что перспективным способом подготовки поверхности под напыление, есть механическая обработка щеточным инструментом.

Разработан технологический процесс восстановления и упрочнения изношенных цилиндрических поверхностей деталей газопламенным напылением, на основе которого изготовлены ремонтные детали и выполнены производственные испытания. Достигнуто повышение износостойкости в 1,35-1,37 раза по сравнению с деталями, изготовленными по традиционной технологии.

Ключевые слова: восстановленные детали, износостойкость, газопламенное напыление, щеточная обработка, технологический процесс.

Deryabkina E., Oger V. «Selection of method and development of technology of restoration of details of autotractor technology»

It has been established that the life of the repaired equipment in actual use is no more than 50% compared to the new, the wear rate of parts after repair increases 1.8 times, which is due to the lower quality level of the repaired parts compared to new ones. Analysis of the literature has shown that the most accessible and widely used method in the practice of machine-building and agricultural enterprises of various sizes is gas-flame spraying, which is the simplest and lowest cost among the methods of gas-thermal spraying of coatings.

It has been established that a promising way of preparing the surface for spraying is mechanical treatment with a brush tool.

The technological process of restoring and hardening worn-out cylindrical surfaces of parts by flame spraying was developed, on the basis of which repair parts were made and production tests were performed. Achieved an increase in wear resistance of 1.35-1.37 times in comparison with parts manufactured by traditional technology.

Key words: *reconditioned parts, wear resistance, flame spraying, brushing, process.*

1. Актуальность

Эффективность работы транспортной и автотракторной техники в большей мере определяется надежностью и затратами на поддержание её в рабочем технически исправном состоянии, которое достигается путем технического обслуживания и ремонта. В настоящее время эти расходы за амортизационный период с учетом расходов на изготовление запасных частей значительно превышают начальную стоимость машин - для тракторов в 4 раза, для автомобилей в 6 раз. Более 85% машин и механизмов выходят из строя по причине износа их деталей, в связи с этим их надежность определяется износостойкостью. Такую ситуацию можно объяснить несовершенством технологий изготовления и восстановления деталей, в частности, применяемых в настоящее время способов упрочнения.

2. Постановка проблемы

Изготовить деталь машины – полдела, вторая часть – придать ей качества, способные обеспечить её долговечность и требуемый ресурс. В идеале ресурс деталей должен быть равен ресурсу машины в целом [1]. Положение значительно усугубляется вследствие роста дефицита и стоимости запасных частей. Реальный же ресурс отремонтированной техники по сравнению с новой составляет не более 50% , а скорость изнашивания деталей после ремонта возрастает в 1,6-2,0 раза[2]. Низкая послеремонтная наработка машин в целом объясняется тем, что около 50% параметров восстановленных деталей не соответствуют нормативным из-за низкого качества технологии ремонта по отношению к технологии изготовления. Выбор и разработка технологии нанесения покрытий при восстановлении деталей выполняется в соответствии с их характеристикой и предъявляемыми требованиями к их эксплуатации.

3. Цель исследований - выбор оптимального способа нанесения покрытий при восстановлении деталей автотракторной техники для повышения качества и обеспечения послеремонтного ресурса.

4. Основной материал

Среди известных способов восстановления и упрочнения поверхностей деталей транспортной техники наибольшее распространение получили способы газотермического напыления [2], объединенные единым принципом формирования покрытий из отдельных частиц, нагретых и ускоренных высокотемпературной газовой струей, что обуславливает слоисточешуйчатую структуру напыленных покрытий. Одним из основных преимуществ этих способов является большая универсальность по материалам наносимых покрытий (от пластмасс до тугоплавких металлов, оксидов, карбидов, керамики, других соединений и их композиций), а также возможность нанесения покрытий с разнообразными функциональными и служебными свойствами на поверхностях различной формы и размеров.

В настоящее время разработаны и активно развиваются способы газотермического напыления: плазменный, электродуговой, газопламенный, детонационный, отличающиеся видом энергии, используемой для создания покрытий (табл.1) [3,4]. Совокупность различных условий эксплуатации деталей определяет назначение наносимых покрытий, причем способы газотермического напыления позволяют наносить покрытия различных функциональных назначений: газопламенное – антифрикционные для работы в условиях смазки, уплотнительные; плазменное – уплотнительные, износостойкие при высокотемпературном сухом трении, теплоизоляционные; детонационно–газовое – износостойкие при высокотемпературном сухом трении, теплоизоляционные, износостойкие при особо жестких условиях эксплуатации покрытий; электродуговая металлизация - антифрикционные для работы в условиях смазки, уплотнительные, износостойкие при высокотемпературном сухом трении.

Анализ литературы [4] также показал, что наиболее доступным и широко используемым способом в практике машиностроительных и сельскохозяйственных предприятий различного масштаба является газопламенное напыление, которое согласно данных табл.1 явля-

ется самым низкостоимостным, способным продлить срок службы деталей в 2...20 раз. Газопламенные покрытия удовлетворяют запросам многих ремонтных производств, при обеспечении требуемой производительности нанесения покрытий и относительно небольшой трудоемкости. К преимуществам способа также следует отнести: незначительный нагрев детали, который не оказывает влияния на структуру материала основы и не снижает усталостную прочность деталей, низкий уровень шума и световых излучений, позволяющий работать оператору без дополнительных средств защиты, возможность использования его как в условиях крупных предприятий, так и на полевых ремонтных базах.

Таблица 1– Характеристика и основные параметры газотермических способов напыления

Параметр	Способ			
	Газопламенный	Электродуго- вая металлиза- ция	Детонацион- но- газовый	Плазмен- ный
Производительность процесса, кг/ч	8...10 (порошков самофлюсующихся сплавов)	12...30	0,1...6,0	3...50
Стоимость 1 ч работы установки, у.е.	2,60	4,24	8,71	9,06
Коэффициент использования напыляемого материала	0,8, 0,95	0,8, 0,95	0,3, 0,8	0,7, 0,9
Площадь покрытия образца, напыленного за 1 ч работы, м ²	0,45, 1,00	6,00, 8,00	0,10, 0,30	0,20, 0,50
Температура частиц материала, К	до 2000	до 2000	до 3000	до 3000
Скорость частиц материала, м/с	20, 80	50, 240	600, 1000	50, 200
Толщина покрытия, мм	0,1...2,5	0,5...2,5	0,05...0,5	0,1...50
Прочность сцепления $S_{сц}$, МПа	5...25	15...35	75...150	10...50
Пористость, %	10,0...30,0	10,0...30,0	0,5...1,0	2,0...15,0

В зависимости от состояния напыляемого материала газопламенное напыление может быть трех типов: проволоочное, прутковое и порошковое. Причем при напылении порошка можно получить покрытие даже в случае неполного его проплавления, также высокотемпературная область пламени по сравнению с проволоочным имеет большую протяженность, что позволяет эффективно использовать эту область для нагрева летящих частиц.

Свойства покрытия существенно зависят от технологического процесса его получения, целью которого является создание на поверхности детали слоя с заданными свойствами, необходимыми для длительной и надежной работы детали в конкретных условиях её эксплу-

атации. При разработке технологии получения покрытия принимаются во внимание специфические особенности упрочняемых деталей: их конструкция, свойства конструкционного металла, требуемые размеры покрытия, допустимый нагрев и др. Технология нанесения покрытий зависит от интенсивности, длительности и последовательности применяемых процессов и их энергетического воздействия. Режимы напыления характеризуются большим числом факторов, оказывающих влияние на структурообразование и свойства покрытий. Целесообразно выделить первичные (технологические факторы), касающиеся технологии и условий напыления и вторичные, которые являются производными от технологических факторов. К первичным факторам целесообразно отнести факторы, касающиеся: режимов напыления (объем порошкового питателя, дистанция напыления, расход газов, рабочее давление газов, производительность); условий напыления (дистанция напыления, скорость перемещения пистолета); напыляемого материала (фракционность и химический состав порошка); условий подготовки напыляемой поверхности (материал, способ подготовки, шероховатость поверхности). Вышеуказанные первичные факторы определяют вторичные факторы, которые оказывают влияние на кинетику и структурообразование покрытий. К ним можно отнести: диаметр, скорость и температуру частиц, степень их окисления; степень активации, шероховатость и температуру подложки. Толщина напыленного слоя регулируется скоростью перемещения горелки, числом напыляемых слоев, относительно поверхности покрытия и за один проход должна составлять до 0,05 мм. При большой толщине напыленного слоя возможны перегревы и отслаивания покрытия. Толщина напыляемого покрытия (h) определяется по формуле:

$$h = \frac{D_1 - D_2}{2} + D, \quad (1)$$

где D_1 – диаметр вала по чертежу, мм; D_2 – диаметр вала после проточки, мм; D – припуск на сторону для механической обработки после напыления, (0,1...0,5мм).

Подготовка поверхности перед напылением обеспечивает её очищение и выводит из состояния термодинамического равновесия, освобождая межатомные связи поверхностных атомов, т.е. химически активизирует подложку. На участках основы, поверхность которых имеет повышенную активность, характер соединения определяется диффузионными процессами [5]. Однако активность подложки быстро снижается из-за химической адсорбции газов и окисления. Экспериментально установленная зависимость прочности сцепления $\sigma_{\text{сц}}$ от времени между подготовкой поверхности и нанесением покрытия τ (рис. 1.), поэтому время между операциями подготовки поверхностей и нанесения покрытий необходимо максимально сокращать. Подготовка поверхности перед напылением обеспечивает её очищение и выводит из состояния термодинамического равновесия, освобождая межатомные связи поверхностных атомов, т.е. химически активизирует подложку. На участках основы, поверхность которых имеет повышенную активность, характер соединения определяется диффузионными процессами [5]. Однако активность подложки быстро снижается из-за химической адсорбции газов и окисления. Экспериментально установленная зависимость прочности сцепления $\sigma_{\text{сц}}$

от времени между подготовкой поверхности и нанесением покрытия τ (рис. 1.), поэтому время между операциями подготовки поверхностей и нанесения покрытий необходимо максимально сокращать.

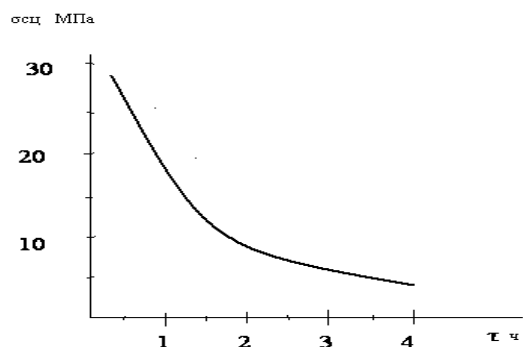


Рис.1 – Зависимость прочности сцепления газопламенного покрытия ПГ10Н-01 от времени между подготовкой поверхности и нанесением покрытий.

Предварительная обработка напыляемой поверхности необходима для обеспечения надежного контакта распыляемого материала и основного металла путем активации поверхностного слоя основы и удаления загрязнений. Наиболее распространенными методами подготовки поверхности под газопламенное покрытие являются дробе- и абразивоструйная обработка. При нанесении применяются газы, которые чаще других используют в производстве для нанесения покрытий: ацетилен и кислород (температура при использовании в качестве горючего газа ацетилена

достигает 3200°C , скорость истечения $150\text{--}160\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, скорость частиц порошка достигает $40\text{--}50\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). Дистанция напыления - $150\text{--}180\text{ мм}$; расход газов: кислород, ацетилен - $1,0\text{--}1,4$; $0,6\text{--}1,5\text{ м}^3/\text{ч}$ соответственно; давление газов: кислород - $0,4\text{--}0,45$, ацетилен - $0,07\text{--}0,1\text{ МПа}$. Максимальная производительность при напылении – $1,5\text{--}5,0\text{ кг/ч}$; коэффициент использования материала – $0,98$. Уровень твердости наружного слоя находится в пределах $56\text{--}62\text{ HRC}$ для покрытия ПГ-10Н-01 и $45\text{--}50\text{ HRC}$ для покрытия ПГ-12Н-02, что соответствует требованиям, предъявляемым к поверхности новых деталей. Технологический процесс восстановления цилиндрических поверхностей валов газопламенным напылением, включает основные операции по подготовке поверхности детали и материалов к напылению, нанесению покрытия, окончательной механической обработке восстановленных деталей (рис.2).

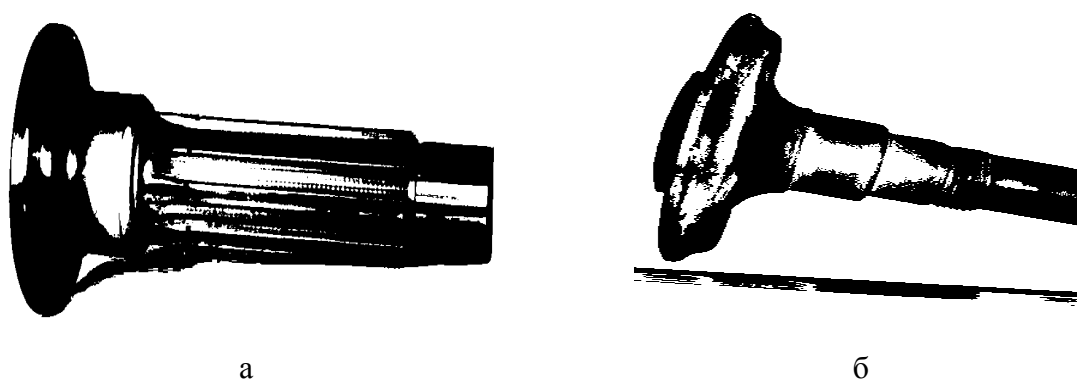


Рис. 2 - Детали, восстановленные газопламенным напылением, вал раздаточной коробки передач трактора Т-150К (а), полуось заднего моста автомобиля ВАЗ 2106 (б).

Выводы

Для восстановительного ремонта деталей типа вал транспортных и автотракторных средств выбрано газопламенное напыление, являющееся простым и дешевым методом нанесения износостойких покрытий.

Разработана технология газопламенного напыления покрытий, с применением механической щеточной обработки для подготовки поверхности под напыление.

Восстановление и упрочнение деталей средств транспорта покрытиями, нанесенными газопламенным напылением, с применением щеточной обработки для подготовки поверхности под напыление, позволило повысить износостойкость деталей в 1,35-1,37 раза (табл.2) [6].

Таблица 2 – Качественные показатели деталей трактора Т-150К, восстановленных и упрочненных газопламенным напылением

Способ восстановления	Деталь	Материал	Прочность сцепления, МПа	Среднее значение износа, мм
Газопламенное напыление	Вал раздаточной коробки передач	ПГ- 10Н-01	18-20	0,01-0,02
	Вал ступицы	ПГ-12Н-01	22-23	0,04-0,08
	Ось вертикального шарнира рамы	ПГ- 10Н-01	19-20	0,57

Список використаних джерел:

1. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов / В. Г. Кухтов. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 292 с.
2. Богуслаев А. В. Характеристики и применение напыления газотермических покрытий на деталях авиадвигателей и технологического оснащения / А. В. Богуслаев // Сучасне машинобудування. – 2000. – № 3-4. – С. 28-34.
3. Борисов Ю. С. Современные тенденции в развитии газотермического напыления покрытий / Ю. С. Борисов // Пленки и покрытия 98: Труды 5-й междуна. конф., СПб., 23-25 сен. 1998 г. – СПб., 1998. – С. 14-19.
4. Шоршоров М. Х. Состояние и перспективы нанесения покрытий распылением / М. Х. Шоршоров, В. В. Кудинов, Ю. А. Харламов // Физика и химия обработки материалов. – 1977. – № 5. – С. 13-24.
5. Дерябкина Е. С. Сравнительная оценка качества различных технологий газопламенного напыления покрытий / Е. С. Дерябкина // Вестник академи инженерных наук Украины. – 2011. – Вип. 3. – С. 57-60.

References

1. Kuhtov, VG 2004, *Dolgovechnost detalej shassi kolesnyh traktorov*, Harkovskij avtomobilno-dorozhnyj institut, Harkov.
2. Boguslaev, AV 2000, 'Harakteristiki i primenenie napylenija gazotermicheskikh pokrytij na detaljah aviadvigatelej i tehnologicheskogo osnashhenija', *Suchasne mashinobuduvannja*, no 3-4, pp. 28-34.
3. Borisov, JuS 1998, 'Sovremennye tendencii v razvitii gazotermicheskogo napylenija pokrytij', *Plenki i pokrytija 98*, Sankt-Peterburg, pp. 14-19.
4. Shorshorov, MH, Kudinov, VV & Harlamov, JuA 1977, 'Sostojanie i perspektivy nanesenija pokrytij raspyleniem', *Fizika i himija obrabotki materialov*, no. 5, pp. 13-24.
5. Derjabkina, ES 2011, 'Sravnitel'naja ocenka kachestva razlichnyh tehnologij gazoplamnogo napylenija pokrytij', *Vestnik akademi inženernykh nauk Ukraïny*, iss. 3, pp. 57-60.

Стаття надійшла до редакції 16 жовтня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-93-98

УДК 621.791

РОЗРОБКА ФЛЮСУ ДЛЯ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ**©Ізотова. К.О., Тищенко А.А.***Украинская инженерно-педагогическая академия***Інформація про авторів:**

Ізотова Катерина Олександрівна: ORCID 0000-0002-6585-6681, ajax1985@rambler.ru, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Тищенко Артем Андрійович: ORCID: 0000-0002-8361-7596; visockiy23@mail.ru; студент факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій в виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою розробки є створення флюсу для газового зварювання алюмінію, що забезпечує підвищення якості і пластичності металу шва і стабільне змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом за рахунок зміни його газошлакової системи.

Для оптимізації газошлакової системи флюсу в його склад, що містить фтористий калій, хлористий літій, фтористий алюміній, додатково вводять фтористий ітрію 0,5-5 %. Істотність відмін складу флюсу полягає в невідомості використання у ньому фтористого ітрію в якості розкислювача і наповнювача флюсу.

Флюси виготовлялися шляхом механічного змішування порошків фторидів і хлоридів у кульовому млині протягом 0,5-1 години до одержання однорідного по кольору складу. Перевірку зварювально-технологічних властивостей дослідних складів флюсів проводили при газовому (ацетиленокисневому) зварюванні пластин алюмінію марки А5 товщиною 5 мм.

В результаті досліджень зварних швів виявлено що змочуваність зварювальної ванни рідким металом гарна. Шлаки легкоплавкі й не утруднюють ведення процесу зварювання розробок великого обсягу. Дефектів зварених швів немає.

Впровадження запропонованого складу флюсу для газового зварювання алюмінію дозволить підвищити продуктивність праці зварювальників і якість виготовлення продукції зварювального виробництва за рахунок підвищення якості і пластичності металу шва і стабільності змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом.

Ключові слова: алюміній, флюс, зварювання, змочування, шов.

Изотова Е.А., Тищенко А.А. «Разработка флюса для газовой сварки алюминия».

Целью разработки является создание флюса для газовой сварки алюминия, обеспечивая повышение качества и пластичности металла шва и стабильное смачивание поверхности присадочной прутка и сварочной ванны расплавленным флюсом за счет изменения его газошлаковой системы.

Для оптимизации газошлаковой системы флюса в его состав, содержащий фтористый калий, хлористый литий, фтористый алюминий, дополнительно вводят фтористый иттрий

0,5-5%. Существенность различий состава флюса заключается в неизвестности использования в нем фтористого иттрия в качестве раскислителя и наполнителя флюса.

Флюсы изготавливались путем механического смешивания порошков фторидов и хлоридов в шаровой мельнице в течение 0,5-1 часа до получения однородного по цвету состава. Проверку сварочно-технологических свойств исследуемых составов флюсов проводили при газовой (ацетилено-кислородной) сварке пластин алюминия марки А5 толщиной 5 мм.

В результате исследований сварных швов установлено что смачиваемость сварочной ванны жидким металлом хорошая. Шлаки легкоплавкие и не утруждают ведения процесса сварки разделок большого объема. Дефектов сварных швов нет.

Внедрение предложенного состава флюса для газовой сварки алюминия позволит повысить производительность труда сварщиков и качество изготовления продукции сварочного производства за счет повышения качества и пластичности металла шва и стабильности смачивания поверхности присадочного прутка и сварочной ванны расплавленным флюсом.

Ключевые слова: алюминий, флюс, сварка, смачивание, шов.

Izotova E., Tischenko A. «Development of flux for gas welding of aluminum».

The aim of the development is to create a flux for aluminum gas welding, providing an improvement in the quality and ductility of the weld metal and the stable wetting of the surface of the filler rod and weld pool by the molten flux by changing its gas-slag system.

To optimize the gas-slag flux system in its composition containing potassium fluoride, lithium chloride, aluminum fluoride, additionally introduce yttrium fluoride 0,5-5%. The essential difference in the composition of the flux lies in the uncertainty of the use in it of yttrium fluoride as a deoxidizer and flux filler.

Fluxes were made by mechanically mixing fluoride powders and chlorides in a ball mill for 0,5-1 hour until a uniform color was obtained. Inspection of welding-technological properties of the investigated flux compositions was carried out with gas (acetylene-oxygen) welding of aluminum plates of A5 grade with a thickness of 5 mm.

As a result of investigations of welded seams, it is established that the wettability of the weld pool by liquid metal is good. Slags are fusible and do not bother to conduct the welding process of large volume cuts. There are no defects in welds.

The introduction of the proposed flux composition for gas welding of aluminum will improve the productivity of welders and the quality of manufacturing of welding products by improving the quality and plasticity of weld metal and the stability of wetting the surface of the filler rod and the weld pool with molten flux.

Key words: aluminum, flux, welding, wetting, seam.

1. Постановка проблеми

Розробка відноситься до області зварювання, зокрема до складу флюсів, які використовуються для газового зварювання алюмінію і його сплавів. Недоліком аналогічних флюсів, у

тому числі і прототипа, є низька змочуваність розплавленим флюсом поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни. Під дією струменя газів, що виходять із пальника, флюс роздувається й частково безповоротно видаляється із зони зварювання, що не забезпечує необхідну якість і пластичність металу шва.

2. Аналіз останніх досліджень

У зварювальному виробництві відомі склади флюсів для зварювання алюмінію по авторським свідоцтвам [1, 2], які вміщують фтористий калій, хлористий калій, фтористий алюміній, хлористий натрій, хлористий літій, та інші компоненти.

Найбільш близьким по складу компонентів до флюсу, що розробляється і взятий в якості прототипу є флюс [3], який вміщує наступні компоненти, в мас. %:

Фтористий калій	35 - 50
Хлористий літій	5 - 15
Цирконат рідкоземельних металів	0,5 - 5
Фтористий алюміній	решта

При газовому зварюванні чавуну застосовують переважно фторидно-хлоридні флюси. Фториди і хлориди лужних металів частково розчиняють оксид алюмінію Al_2O_3 на поверні деталей що зварюються, завдяки чому проходить розкислення металу.

Основними причинами, по яким в аналогах і прототипі неможливо отримати технічний результат, що досягається корисною моделлю, є недосконала газошлакова система флюсу, що не дозволяє отримати якісний і пластичний метал шва і стабільне змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом.

Технічним завданням розробки є створення флюсу для газового зварювання алюмінію, що забезпечує підвищення якості і пластичності металу шва і стабільне змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом за рахунок зміни його газошлакової системи.

3. Експериментальна частина

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що для оптимізації газошлакової системи флюсу в його склад, що містить фтористий калій, хлористий літій, фтористий алюміній, додатково вводять фтористий ітрій при наступному співвідношенні компонентів флюсу, в мас. %:

Фтористий калій	35 - 50
Хлористий літій	5 - 15
Фтористий ітрій	0,5 - 5
Фтористий алюміній	решта

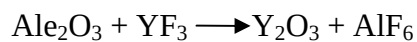
Новим, у порівнянні з прототипом, є введення до складу флюсу фтористого ітрію 0,5-5 %. Істотність відмін складу флюсу, що заявляється полягає в невідомості використання у ньому фтористого ітрію в якості розкислювача і наповнювача флюсу.

У якості нового фтористого компоненту до складу флюсу вводиться 0,5-5% фтористого ітрію, що являє собою сіль металу ітрію і плавикової кислоти з формулою YF_3 , кристали без кольору, не розчинні у воді. Температура плавлення YF_3 складає $1387^\circ C$.

Фтористий ітрій у складі флюсу для газового зварювання алюмінію дає новий технологічний ефект комплексного введення Y і F у сполученні з фтористим калієм, хлористий літієм і фтористим алюмінієм.

Дія фтористого ітрію при газовому зварюванні алюмінію зводиться до наступного: при нагріванні алюмінію на крайках деталей, що зварюються, а також у зварювальній ванні утворюються оксиди алюмінію Al_2O_3 .

У результаті дисоціації фтористого ітрію у зварювальній ванні можливий плин наступної реакції:



Таким чином, фтористий ітрій взаємодіє з оксидом алюмінію шляхом розчинення або зв'язування його у легкоплавке з'єднання з малою щільністю, що полегшує процес змочування розплавленим флюсом поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни.

Ітрій може частково відновлюватись з оксиду у зварювальній ванні і переходити у метал шва, виконуючи функцію модифікування і мікролегування алюмінію, що підвищує його пластичність і зменшує схильність до тріщеноутворення.

При вмісті у флюсі фтористого ітрію у кількості менше 0,5 мас.% не забезпечується достатнє розкислення і мікролегування зварювальної ванни, а також змочування поверхні алюмінію й утворення легкоплавких шлаків.

При вмісті у флюсі фтористого ітрію у кількості більше 5 мас.% значно підвищується окисний потенціал флюсу, що призводить до надмірного окислення поверхні рідкого металу, зашлаковкам і втратам флюсу на угар.

Запропоноване кількісне співвідношення всіх компонентів флюсу являється оптимальним і забезпечує підвищення якості і пластичності металу шва і стабільне змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом.

Флюси виготовлялися шляхом механічного змішування порошків фторидів і хлоридів у кульовому млині протягом 0,5-1 години до одержання однорідного по кольору складу.

4. Результати досліджень

Були виготовлені флюси для газового зварювання алюмінію різного складу (див. табл. 1). Перевірку зварювально-технологічних властивостей дослідних складів флюсів проводили при газовому (ацетилено-кисневому) зварюванні пластин алюмінію марки А5 товщиною 5 мм.

Результати випробування зварювально-технологічних властивостей і якості наплавленого металу при газовому зварюванні алюмінію із застосуванням прутків марки А5 і дослідних флюсів у порівнянні із прототипом наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Склад дослідних флюсів для зварювання алюмінію

Компоненти флюсу	Склади флюсів, мас. %					
	Прототип	1	2	3	4	5
Фтористий калій	45	34	35	45	50	51
Хлористий літій	10	4	5	10	15	16
Цирконат рідкоземельних металів	3	-	-	-	-	-
Фтористий ітрій	-	0,4	0,5	3	5	6
Фтористий алюміній	решта	решта	решта	решта	решта	решта

Таблиця 2 - Результати випробування зварювально-технологічних властивостей флюсів

Варіант флюсу	Зварювально-технологічні властивості	Механічні властивості металу шва	
		Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %
Прото-тип	Недостатня змочуваність рідким металом поверхні основного металу. Поганий захист зварювальної ванни, великі втрати на здування, недостатня флюсоуюча здатність, підвищена тугоплавкість шлаків.	59	20
1	Змочуваність задовільна. Підвищилася легкоплавкість шлаків. Спостерігаються одиничні зашлаковки в металі шва.	58	20,5
2	Змочуваність зварювальної ванни рідким металом задовільна. Утворюються легкоплавкі шлаки. Зашлаковок і несплавлень немає.	60	21
3	Змочуваність зварювальної ванни рідким металом гарна. Шлаки легкоплавкі й не утруднюють ведення процесу зварювання. Дефектів зварених швів немає.	60	25
4	Гарне змочування рідким металом поверхні основного металу й утворення легкоплавких шлаків. Пор і зашлаковок у наплавленому металі немає.	60	28
5	Змочуваність зварювальної ванни гарна. Спостерігається кипіння рідкого металу, утворюються пори в наплавленому металі. Шлаки занадто рідкотекучі і погано вкривають метал шва.	65	23

На підставі проведених випробувань зварювально-технологічних властивостей дослідних флюсів визначено, що оптимальним складом, що забезпечує високу якість і пластичність металу шва й гарні зварювально-технологічні властивості є флюси варіантів 1, 2 і 3.

При вмісті компонентів менше пропонованого мінімального співвідношення змочуваність задовільна, підвищилася легкоплавкість шлаків, спостерігаються одиничні зашлаковки в металі шва, недостатня міцність і пластичність металу шва.

При вмісті компонентів більше пропонованого співвідношення, спостерігається кипіння рідкого металу, утворюються пори в наплавленому металі, шлаки занадто рідкотекучі і погано вкривають метал шва, міцність металу шва висока при недостатній пластичності.

Впровадження запропонованого складу флюсу для газового зварювання алюмінію дозволить підвищити продуктивність праці зварювальників і якість виготовлення продукції зварювального виробництва за рахунок підвищення якості і пластичності металу шва і стабільності змочування поверхні присадкового прутка і зварювальної ванни розплавленим флюсом.

Висновки

Впровадження розробленого складу флюсу для газового зварювання алюмінію дозволить підвищити продуктивність праці зварювальників і якість виготовлення продукції зварювального виробництва.

Список використаних джерел:

1. А.с. 527264 СССР, МПК В 23К 9/12. Устройство для подачи электродной проволоки в зону сварки / Ю. Г. Грибков, М. В. Кузнецов, Г. Г. Волков, Е. П. Картошкин, Ю. Н. Мешков. – № 2127450/27 ; заявл. 24.04.1975 ; опубл. 05.09.1976, Бюл. № 33. – 3с.
2. А.с. 729018 СССР, МПК В 23К 35/362. Флюс для сварки алюминия и его сплавов / А. Д. Корнеев, В. Я. Зусин, О. М. Пенков, Н. К. Андрушкевич. – № 2679588/25-27 ; заявл. 31.10.1978 ; опубл. 25.04.1980, Бюл. № 15. – 3 с.
3. А.с. 961908 СССР, МПК В 23К 35/362. Флюс для сварки алюминия и его сплавов / Д. Ю. Кривень, Н. А. Калин. – № 3281076/25-27 ; заявл. 27.04.1981 ; опубл. 30.09.1982, Бюл. № 36. – 3 с.

References

1. Gribkov, JuG, Kuznecov, MV, Volkov, GG, Kartoshkin, EP & Meshkov, JuN 1976, *Ustrojstvo dlja podachi jelektronoj provoloki v zonu svarki*, USSR Patent 527264.
2. Korneev, AD, Zusin, VJa, Penkov, OM & Andrushkevich, NK 1980, *Fljus dlja svarki aljuminija i ego splavov*, USSR Patent 729018.
3. Kriven, DJu & Kalin, NA 1982, *Fljus dlja svarki aljuminija i ego splavov*, USSR Patent 961908.

Стаття надійшла до редакції 16 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-99-104

УДК 621.791.03

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МІДІ

©Калін М. А.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Калін Микола Андрійович: ORCID: 0000-0002-4068-2718; svargof@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою роботи є створення електрода для зварювання міді з поліпшеними зварювально-технологічними властивостями і підвищення якості наплавленого металу, що забезпечуються за рахунок зміни системи розкислення, легування, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що для оптимізації системи розкислення і газошлакової системи покриття в його склад, що містить крейду, польовий шпат, металічний марганець, кристалічний кремній і плавиковий шпат додатково вводять чавунний порошок. Для досліджень використовувалися металеві електроди для ручного дугового зварювання, що виготовляються способом обпресування. В якості електродних стрижнів використовували мідний зварювальний дріт марок МТ по ГОСТ 859-2001. Для визначення якості наплавленого металу й зварювально-технологічних властивостей електродів робили заварку оброблення глибиною 10 мм і довжиною 100 мм із кутом розкриття 60° на пластині із міді марки М1 товщиною 15 мм.

Зварювання робили електродами діаметром 4 мм на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму 160-180 А. Попередньо проводили підігрів мідної пластини газовим пальником до температури 600-650°C. Високі зварювально-технологічні властивості електродів дозволяють виконувати зварювання електродугове зварювання мідних деталей і заварку дефектів у виливках, створювати зварно-литі конструкції із забезпеченням високої якості швів.

Ключові слова: електроди, мідь, розкислення, струм, зварювання.

Калін Н.А. «Разработка электродов для сварки меди».

Целью работы является создание электрода для сварки меди с улучшенными сварочно-технологическими свойствами и повышение качества наплавленного металла, обеспечиваемые за счет изменения системы раскисления, легирования, шлаковой и газовой системы защиты металла шва компонентами электродного покрытия.

Решение поставленной задачи достигается тем, что для оптимизации системы раскисления и газошлаковой системы покрытия в его состав, содержащий мел, полевого шпат, металлический марганец, кристаллический кремний и плавиковый шпат дополнительно вводят чугунный порошок. Для исследований использовались металлические электроды для ручной дуговой сварки, изготавливаемые способом обпрессовки. В качестве электродных стержней использовали медную сварочную проволоку марок М1 по ГОСТ 859-2001. Для определения качества наплавленного металла и сварочно-технологических свойств электродов делали заварку

разделки глубиной 10 мм и длиной 100 мм с углом раскрытия 60 ° на пластине с меди марки М1 толщиной 15мм.

Сварку производили электродами диаметром 4 мм на постоянном токе обратной полярности. Сила тока 160-180 А. Предварительно проводили подогрев медной пластины газовой горелкой до температуры 600-650°C.

Высокие сварочно-технологические свойства электродов позволяют производить электродугую сварку медных деталей и заварку дефектов в отливках, создавать сварно-литые конструкции с обеспечением высокого качества швов.

Ключевые слова: электроды, медь, раскисление, ток, сварка.

Kalin N. «Development of electrodes for copper welding».

The aim of the work is to create an electrode for welding copper with improved welding and technological properties and improving the quality of welded metal, provided by changing the system of deoxidation, alloying, slag and gas system for protecting the weld metal with electrode coating components.

The solution of the stated task is achieved by the fact that in order to optimize the deoxidation system and the gas-slag coating system, a cast iron powder is additionally introduced into its composition containing chalk, feldspar, metallic manganese, crystalline silicon and fluorspar.

Metal electrodes for manual arc welding, manufactured by the crimping method, were used for the studies. As electrode rods used copper welding wire M1 grades in accordance with GOST 859-2001. To determine the quality of the weld metal and the welding-technological properties of the electrodes, the welding was done with a depth of 10 mm and a length of 100 mm with an opening angle of 60 ° on a plate with a copper grade of 15 mm thickness.

Welding was performed with electrodes with a diameter of 4 mm at a constant current of reverse polarity. The current strength was 160-180 A. Preliminary heating of the copper plate with a gas burner was carried out to a temperature of 600-650 ° C.

High welding-technological properties of electrodes allow to produce electric arc welding of copper parts and welding of defects in castings, to create welded-cast structures ensuring high quality of seams.

Key words: electrodes, copper, deoxidation, current, welding.

1. Постановка проблеми

Розробка відноситься до зварювання, зокрема до складів електродних покриттів, що застосовуються для зварювання міді. У зварювальному виробництві відомі склади покриттів, наприклад електродів марок «Комсомолец 100», ЗТ, ЦБ-1 та ін., а також склади електродних покриттів по авторським свідоцтвам [1, 2], які вміщують мармур, криоліт, плавииковий шпат, польовий шпат, феросиліцій, феромарганець, графіт, калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

2. Аналіз останніх досліджень

Найбільш близьким по вмісту компонентів до складу, що розробляється і взяте в якості прототипу є покриття [3], яке вміщує наступні компоненти, в мас. %:

Крейда	8 - 12
Польовий шпат	8 - 12
Металічний марганець	35 - 38
Кристалічний кремній	18 - 20
Ітрій	0,05 – 0,5
Плавиковий шпат	решта

Електродне покриття основного виду, призначене для виробництва зварювальних електродів, які використовуються для дугового зварювання міді на постійному струмі. Використання складу електродного покриття дозволяє проводити зварювання мідних деталей і заварку дефектів мідного литва із забезпеченням високої міцності металу шва.

Недоліком аналогічних електродів, у тому числі і прототипу, є недостатня якість металу шва і низькі зварювально-технологічні властивості електродів а також використання дорогих і дефіцитних для України матеріалів, зокрема ітрію, що ускладнює їх виробництво. Це не дозволяє використовувати згадані електроди для зварювання в промислових об'ємах.

Основними причинами, по яким в аналогах і прототипі неможливо отримати технічний результат, що досягається цією розробкою, є недосконала система розкислення, легування і газошлакова система покриття електродів, що не дозволяє отримати якісний метал шва при зварюванні міді в промислових умовах.

3. Постановка проблеми

Технічним завданням розробки є створення електрода для зварювання міді з поліпшеними зварювально-технологічними властивостями і підвищення якості наплавленого металу, що забезпечуються за рахунок зміни системи розкислення, легування, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

4. Експериментальна частина

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що для оптимізації системи розкислення і газошлакової системи покриття в його склад, що містить крейду, польовий шпат, металічний марганець, кристалічний кремній і плавиковий шпат додатково вводять чавунний порошок, при наступному співвідношенні компонентів покриття, мас. %:

Крейда	8 - 12
Польовий шпат	8 - 12
Металічний марганець	35 - 38
Кристалічний кремній	18 - 20
Чавунний порошок	5 - 10
Плавиковий шпат	решта

Новим, у порівнянні з прототипом, є введення до складу покриття чавунного порошку у кількості 5-10 %.

Істотність відмін складу покриття, що розробляється полягає в невідомості використання в ньому чавунного порошку в якості розкислювача і газо шлакоутворюючого компонента, що забезпечує додаткове розкислення і легування металу шва, підвищення його якості. Чавунний порошок отримують шляхом розмолу стружки сірого чавуну у шаровому млині і просіву її через сито № 0315 по ГОСТ 6613.

Чавунний порошок вводиться до складу електродного покриття у кількості 5–10 %, як сплав Fe-C, який містить зв'язаний вуглець. Він виконує роль розкислювача металу крапель і зварювальної ванни при плавленні електрода. Додаткове розкислення вуглецем зменшує кількість кисню і неметалічних включень у наплавленому металі, що підвищує механічні властивості металу шва. Крім того, залізо, що утворюється під час плавлення електродів надає міді в металі шва міцності і подрібнює його структуру.

Введення чавунного порошку до складу покриття в кількості менше 5 % не забезпечує повного розкислення металу шва і не забезпечує помітне підвищення якості металу шва.

При введенні чавунного порошку у склад покриття в кількості більше 10 % спостерігається збільшення вмісту вуглецю в наплавленому металі, що може привести до утворення гарячих тріщин в металі шва, а також пороутворенню за рахунок окислення вуглецю у зварювальній ванні, з виділенням CO.

Введенням до складу покриття електродів чавунного порошку, у кількості 5-10% досягається оптимальний газшлаковий захист мідного сплаву, що утворюється при плавленні електрода.

Шлаки, що утворюються, характеризуються гарною газопроникністю, необхідною в'язкістю й відмінною віддільністю, що забезпечує можливість заварки розробок і дефектів у відливках із міді без поширювального очищення шлаків.

Технологія виготовлення електродів із розробленим покриттям не відрізняється від відомої. В якості електродних стрижнів використовується мідний зварювальний дріт марок М1 по ГОСТ 859-2001.

Виготовлено й випробувано електроди п'яти варіантів із розробленим покриттям і електрод-прототип. Варіанти виготовлених електродів наведені в табл. 1, а результати технологічної перевірки дослідних електродів і прототипу наведені в табл. 2.

Для визначення якості наплавленого металу й зварювально-технологічних властивостей електродів робили заварку оброблення глибиною 10 мм і довжиною 100 мм із кутом розкриття 60° на пластині із міді марки М1 товщиною 15мм.

Зварювання робили електродами діаметром 4 мм на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму 160-180 А. Попередньо проводили підігрів мідної пластини газовим пальником до температури 600-650°C.

Таблиця 1 – Склад покриття електродів

Компоненти покриття		Вміст компонентів, мас % (по варіантам електродів)				
	Прототип	1	2	3	4	5
Крейда	10	7	8	10	12	13
Польовий шпат	10	7	8	10	12	13
Металічний марганець	37	34	35	37	38	39
Кристалічний кремній	19	17	18	19	20	21
Ітрій	0,2	-	-	-	-	-
Чавунний порошок	-	4	5	8	10	11
Плавикий шпат	решта	решта	решта	решта	решта	решта

Результати випробувань зварювально-технологічних властивостей і якості наплавленого металу показують, що оптимальним є склад покриття варіантів 2, 3 і 4, що забезпечує високу якість наплавленого металу (відсутність тріщин, пор, зашлаковок) та гарні зварювально-технологічні властивості електродів при зварюванні міді.

Таблиця 2 – Результати технологічних випробувань електродів

Варіант електроду	Зварювально-технологічні властивості	Кількість пор на 100 мм шва, шт	Кількість тріщин на 100 мм шва, шт
Прототип	Формування шва задовільне, схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва утруднена.	5	3
1	Формування шва задовільне, схильність до утворення пор і тріщин низька. Обробка шва задовільна.	2	1
2	Формування шва добре, схильність до утворення пор і тріщин низька. Обробка шва хороша.	нема	нема
3	Формування шва відмінне, не схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва хороша.	нема	нема
4	Формування шва хороше, не схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва хороша.	нема	нема
5	Формування шва задовільне, схильні до утворення зашлаковок. Обробка шва хороша.	3 зашлаковки	нема

Електродне покриття варіантів 1 і 5, що містить відповідно знижену й підвищену кількість компонентів, що заявляються, не забезпечує досягнення поставленої мети.

Таким чином, використання в покритті зазначених компонентів у певнім сполученні й певних пропорціях, забезпечують досягнення поставленої мети - високих зварювально-технологічних властивостей електрода і якості наплавленого металу, дозволяють виконувати електродугове зварювання мідних деталей і заварку дефектів у виливках, створювати зварно-литі конструкції із забезпеченням високої якості швів.

Висновки

Розроблені електроди для зварювання відповідальних конструкцій з міді на постійному струмі. Забезпечуються необхідні зварювально-технологічні і механічні характеристики наплавленого металу.

Список використаних джерел:

1. А. с. 266109 СССР, МПК В 23К 35/365, В 23К 35/04. Электродное покрытие / Ю. А. Шелкунов, Ю. Г. Новосельцев, В. В. Ильин. – № 1311745/25-27 ; заявл. 19.03.1969 ; опубл. 17.03.1970, Бюл. № 11. – 1 с.
2. А. с. 282554 СССР, МПК В 23К 35/365, В 23К 35/04. Электрод для сварки меди / Л. Д. Веретник, М. Г. Бычко, Н. Г. Ефименко. – № 1363582/25-27 ; заявл. 15.09.1969 ; опубл. 28.09.1970, Бюл. № 30. – 1 с.
3. А. с. 586975 СССР, МПК В 23К 35/365. Состав электродного покрытия / Н. Г. Ефименко, Н. С. Лычагин, К. К. Евдокимов, В. Я. Бригидин, Н. А. Калинин. – № 2108046/25-27 ; заявл. 24.02.1975 ; опубл. 05.01.1978, Бюл. № 1. – 2 с.

References

1. Shelkunov, JuA, Novoselcev, JuG Ilin, VV 1970, *Jelektroodnoe pokrytie*, USSR Patent 266109.
2. Veretnik, LD, Bychko, MG & Efimenko, NG 1970, *Jelektrood dlja svarki medi*, USSR Patent 282554.
3. Efimenko, NG, Lychagin, NS, Evdokimov, KK, Brigidin, VJa & Kalin, NA 1978, *Sostav jelektroodnogo pokrytija*, USSR Patent 586975.

Стаття надійшла до редакції 6 грудня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-105-113

УДК 681.12

СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПУЛЬСАЦИЯМИ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬЮ ПОТОКА

©Князева В.Н., Канюк Г.И., Мезеря, А.Ю., Андреев А.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Князева Виктория Николаевна: ORCID: 0000-0002-3106-4897; vitok911@ukr.net; асистент; асистент кафедри теплоенергетики и энергосберегающих технологий; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Канюк Геннадий Иванович: ORCID: 0000-0003-1399-9039; доктор технических наук; профессор кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Мезеря Андрей Юрьевич: ORCID: 0000-0003-2946-9593; mezzer@mail.ru; кандидат технических наук; доцент кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Андреев Александр Віталійович : ORCID: 0000-0002-2601-1491; vitok911@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри теплоенергетики та енергосберегаючих технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, г. Харьков, 61003, Україна.

Розглянуто шляхи зниження похибок виміру витрати нафти магістральних нафтопроводів, які пов'язані з узгодженням обраного інтервалу виміру та характеристик коливання потоку (похибка несінфазності) і вибором дискретності виміру. Наведено аналіз математичних методів визначення інтегрального значення витрати нафти при проведенні енергетичних випробувань насосних установок нафтоперегінних станцій і поточного контролю в системах САУ.

Ключові слова: похибки виміру, точність виміру, несінфазність виміру, дискретність сигналу, інтегральне значення.

Князева В. Н., Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Андреев А.В. «Снижение погрешностей измерения расхода нефти в магистральных нефтепроводах, обусловленных пульсациями нестационарностью потока».

Рассмотрены пути снижения погрешностей измерения расхода нефти магистральных нефтепроводов, связанные с согласованием выбранного интервала измерений и характеристик колебания потока (погрешность несинфазности) и выбором дискретности измерений. Приведен анализ математических методов определения интегрального значения расхода нефти при проведении энергетических испытаний насосных установок нефтеперекачивающих станций и текущего контроля в системах САУ.

Ключевые слова: погрешности измерений, точность измерений, несинфазность измерений, дискретность сигнала, интегральное значение.

Kniazieva V., Kanyuk G., Mezerya A., Andreev A. «Reduction of the error of measuring the oil consumption in the main oil pipelines, caused by pulsations by an unsteady of the flow».

Considered ways of the reduction of inaccuracy of the measurement of the consumption to oils main oil pipeline, connected with co-ordination of the selected interval of the measurements and fea-

tures of the fluctuation of the flow (inaccuracy unphas) and choice discontinuity measurements. Broughted analysis of the mathematical methods of the determination of integral importance of the consupction to oils when undertaking the energy test the pumping installation oil station and current checking in system SAU.

Key words: inaccuracy of the measurements, accuracy of the measurements, unphase measurements, discontinuity signal, integral importance.

1. Введение

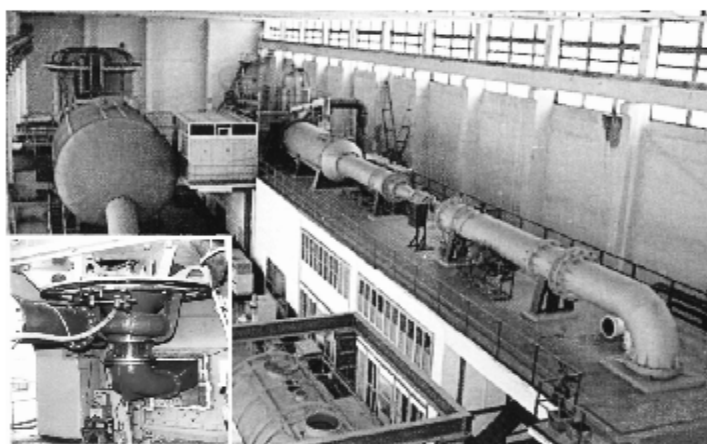
Повышение точности измерения при определении среднего значения расхода нефти в магистральных нефтепроводах является актуальной научно-технической задачей. Решение этого вопроса осуществляется путем комплексного подхода, заключающего в себе применение и усовершенствование методов и методик измерения, перевооружение технического парка измерительной аппаратуры, использование современного математического аппарата и т.д. Проблема повышения точности измерения расхода нефти обусловлена не только техническими, но и экономическими факторами. Украина является крупным транзитером газа и нефти. На сегодняшний день система магистральных нефтепроводов Украины включает 19 нефтепроводов диаметром до 1220 мм общей длинной около 4800 км, 51 нефтеперекачивающую станцию (НПС), работу которых обеспечивают 176 насосных агрегатов, единичной производительностью до 12500 м³/час. Суммарная электрическая мощность электроприводов составляет около 360 тыс. кВт. Пропускная способность системы равна 114 млн. т/год на входе и более 56 млн. т/год на выходе. Ошибка в измерении на 1% при погной загрузке системы составит 1 млн. т/год на входе и 0,5 млн. т/год на выходе. При стоимости нефти порядка 10000 грн. за тонну, экономический ущерб может быть оценен в размере 5-10 млрд. грн.в год.

В работах [1, 2] показаны методы снижения погрешности измерения гидравлических параметров гидромашин, обусловленные несовпадением фаз пульсаций параметра и интервала осреднения, конечной частотой опроса датчиков, временным интервалом измерения и выбором математического метода осреднения. Предложенные методы реализованы на гидравлических испытательных стендах (рис. 1.а) гидротурбинной лаборатории ОАО «Турбоатом» (г.Харьков) при проведении испытаний гидравлических машин и в эталонной расходомерной установке РОУ-180 (рис. 1.б) ННЦ «Институт метрологии» (г.Харьков) при градуировки расходомерных устройств [3].

Установки, показанные на рис.1, характеризуются высочайшей степенью точности, совершенными методами и средствами стабилизации потока, современным точным оборудованием. Но даже для таких условий погрешности, описанные в [1] и ниже по тексту, составляют значительную величину. Так, например, погрешность несинфазности может составлять 0,1-0,2% и выше.

Анализ энергетических характеристик и режимов работы насосных установок магистральных нефтепроводов [4] и электрических станций [5], показал, что насосные агрегаты

оказывают значительное влияние на эффективность работы нефтеперкачивающих станций. Режимы их работы существенно тяжелей, классы точности измерительной аппаратуры на порядок ниже, чем в гидротурбинных лабораториях, амплитуды пульсации напора и расхода – выше. Все это увеличивает величину погрешностей и повышает актуальность их учета и минимизации. В связи с этим, решения, полученные для условий гидротурбинных лабораторий и эталонных расходомерных установок, необходимо использовать на магистральных нефтепроводах при измерении расхода нефти, а, при доработке – и расхода газа в газопроводах.



а)



б)

Рис. 1

а) – Гидравлический испытательный стенд ЭКС-100 ОАО «Турбоатом»

б) – Эталонная расходомерная установка РОУ-180 НИЦ «Институт метрологии»

2. Изложение основного материала

Погрешность несинфазности

Измеряемый параметр $X(t)$, проходящий через измерительный механизм, обладает нестабильностью даже при неизменной настройке регулирующих органов. В гидравлических и аэродинамических системах это вызвано наличием в проточных трактах продольных пульсаций скорости, обусловленных турбулентностью, перемежаемостью и т.п. эффектами.

Наличие этой нестабильности вызывает погрешности измерений параметра, т.к. при несовпадении фаз моментов начала и конца интервала осреднения с периодами пульсаций параметра его осредненная величина X_0 , измеренная с любой точностью, будет отличаться от средней по времени X_{cp} , т.е. $X_{cp} - X_0 = \Delta_{нф}$. Иллюстрация природы этого явления показана на рис. 2. Поскольку фаза колебаний параметра, соответствующая началу интервала осреднения, обычно случайна, а интервал осреднения и дискретность измерений не коррелированы со структурой колебаний параметра, эти погрешности также будут случайными величинами. Для исследования характера и оценки погрешности несинфазности $\Delta_{нф}$ пользовались следующей моделью измеряемого параметра:

$$X(t) = X_0 + X_{\sim} \quad (1)$$

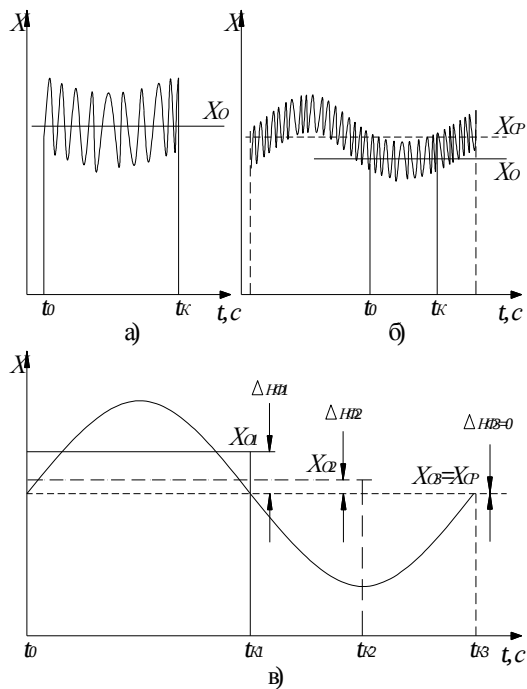


Рис. 2 Иллюстрация природы возникновения погрешности несинфазности (а, б) и её зависимость от выбора интервала времени осреднения (измерения) $T=t_k-t_0$ (в)

где X_0 и $X_{\sim}$ – постоянная и периодическая переменная составляющие параметра, соответственно. Периодический процесс может рассматриваться как суперпозиция гармонических составляющих, т.е.:

$$X_{\sim} = X_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

где X_m , ω и φ – амплитуда, круговая частота и начальная фаза колебаний параметра, соответственно.

Среднее за время интегрирования T значение с учетом (1) и (2) представимо в виде:

$$X_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt = X_0 - \frac{X_m}{\omega T} [\cos(\omega t + \varphi) - \cos \varphi]$$

При этом относительная погрешность несинфазности $\delta_{нф}$ измерения определяется:

$$d_{нф} = \frac{D_{нф}}{X_{cp}} = \frac{X_{cp} - X_0}{X_{cp}} = \frac{X_m}{X_{cp}} \times \frac{\cos \varphi - \cos(\omega T + \varphi)}{\omega T} = A \cdot K, \quad (3)$$

где $A = \frac{X_m}{X_{cp}}$ – относительная амплитуда колебаний параметра;

$$K = \frac{\cos \varphi - \cos(\omega T + \varphi)}{\omega T} \text{ – фазовый коэффициент.}$$

ω – круговая частота колебаний параметра, рад/с;
 φ – начальная фаза колебаний.

Из (3) также следует, что погрешность несинфазности зависит не только от начальной фазы колебаний параметра, но и от относительной амплитуды периодической составляющей X_m/X_{cp} , круговой частоты ω и времени интегрирования T .

Характер изменения фазового коэффициента K от фазы колебаний ωT при $0 < \varphi < \pi/2$ показан на рис. 3 а). Начальная фаза колебаний φ является случайной величиной, поэтому для упрощения расчетов можно положить $\varphi=0$, при этом семейство кривых $K=f(\omega T, \varphi)$ вырождаются в график, представленный на рис. 3 б).

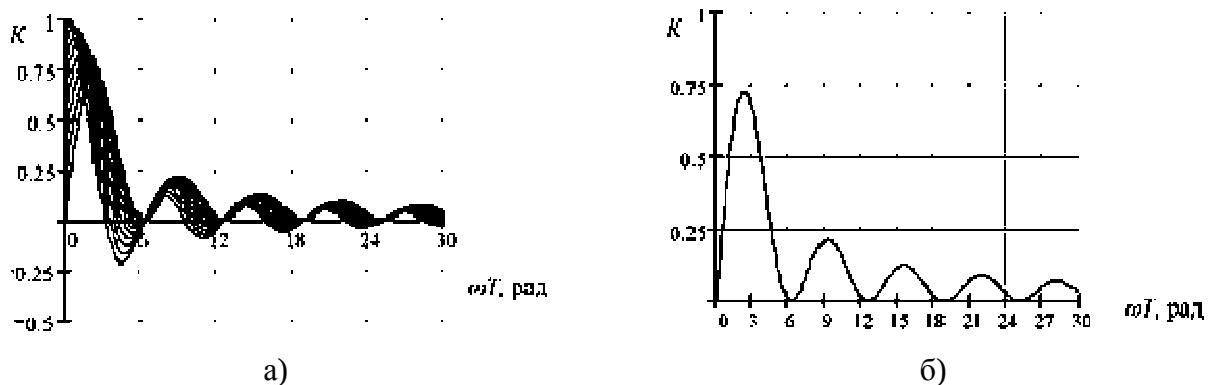


Рис. 3 Зависимость K от ωT при $\varphi=\text{var}$ (а) и $\varphi=0^\circ$ (б)

На рис. 4 а) представлена погрешность несинфазности $\delta_{\text{нф}}$, соответствующая различным значениям относительной амплитуды колебаний A и фазы колебаний ωT параметра. Зная частоту низкочастотных колебаний параметра, к примеру, из показаний измерительных приборов, можно определить искомое минимальное время осреднения с целью обеспечения требуемой погрешности измерения (рис. 4.б).

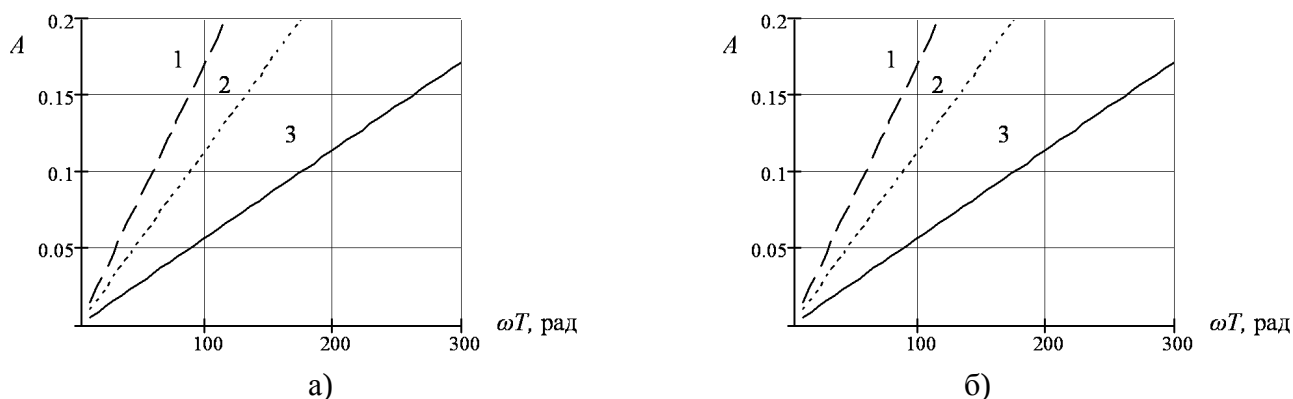


Рис. 4. а) Погрешность несинфазности $\delta_{\text{нф}}$, соответствующая различным значениям относительной амплитуды колебаний параметра A и фазы колебаний ωT (1 – соответствует $\delta_{\text{нф}}=0,3\%$, 2 – соответствует $\delta_{\text{нф}}=0,2\%$, 3 – соответствует $\delta_{\text{нф}}=0,1\%$) б) Зависимость времени интегрирования от частоты колебаний параметра (1 – соответствует $\omega T=90$; 2 – соответствует $\omega T=70$; 3 – соответствует $\omega T=50$)

Погрешность измерения среднего значения параметра, связанная с несинфазностью осреднения, как функция времени t может быть определена в соответствии с выражением:

$$d_{\text{нф}}(t) = \left| \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k - X_0}{X_0} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

Здесь $X_k = X_{k(t)}$ – текущее значение параметра; $t=n \cdot h$ – переменная величина времени осреднения параметра, меняющаяся от h до T ; n – переменная, меняющаяся от 1 до M , где M – количество измерений параметра в эксперименте; h – дискретность измерений; T – продолжительность измерений; X_0 – осредненное значение параметра при $t=T$ и $n=M$.

На рис. 5 а) представлена экспериментально полученная зависимость погрешности $\delta_{\text{нф}}$, обусловленная несинфазностью осреднения расхода, от времени измерения t , на эталонной расходомерной установке РОУ-180 ННЦ «Институт метрологии». На рис. 5 б) показана та же зависимость, что и на рис. 5 а), но построенная по формуле (1). Кривая 1 соответствует погрешности при колебаниях расхода с частотой, равной максимальной из разложения Фурье ($\omega_{\text{max}} = 0,8616$ рад/с). Кривая 2 учитывает самые низкочастотные пульсации расхода в установке ($\omega = 0,033$ рад/с), она же, по-видимому, и объясняет всплески погрешности на экспериментальной зависимости.

Погрешность дискретизации

Восстановление характера изменения параметра во времени происходит по дискретным показаниям измерительных устройств, что вызывает дополнительную погрешность измерений.

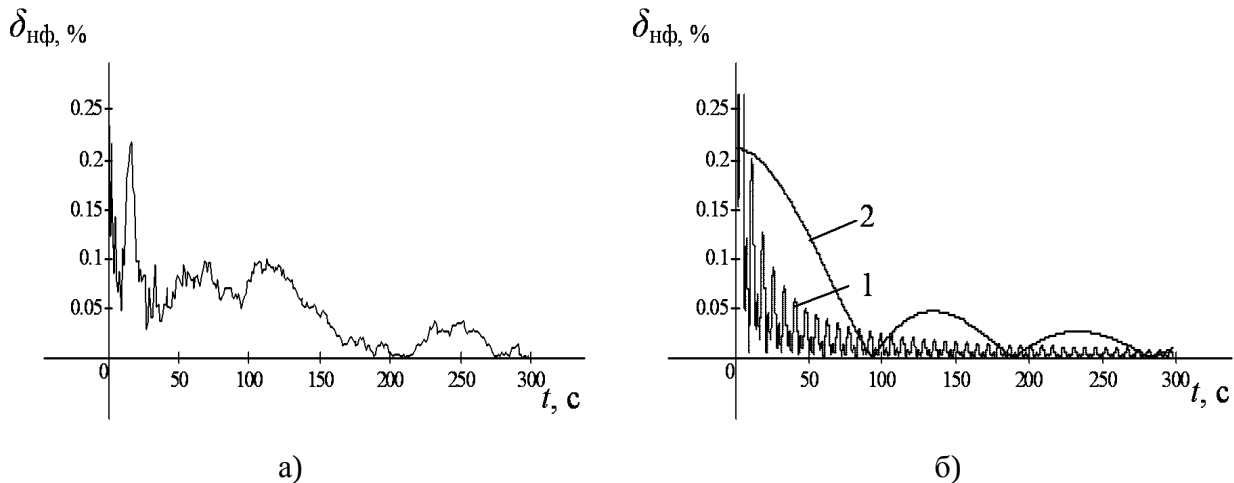


Рис. 5. Экспериментальные (а) и теоретические (б) исследования погрешности несинфазности в эталонной расходомерной установке РОУ-180

В [1] показано, что максимальная относительная погрешность аппроксимации определяется:

$$d_{\max} = \frac{1}{6} \frac{y''(t_0) t^2}{y(t_0)} \quad (5)$$

Откуда интервал измерения:

$$t = \sqrt{\frac{6d_{\max}}{X''(t_0)}} = \sqrt{\frac{6d_{\max} X(t_0)}{X''(t_0)}}$$

Величина погрешности дискретизации определяется как характером колебаний параметра (вторая производная по времени), так и частотой опроса датчиков (величина, обратно пропорциональная интервалу времени между измерениями).

Тогда для гармонически изменяющегося параметра необходимая частота опроса датчика составит:

$$f_D = \frac{1}{t} = w \sqrt{\frac{X_m}{6d_{\max} X_{cp}}} = w \sqrt{\frac{A}{6d_{\max}}} \quad (6)$$

Погрешность математического аппарата расчета среднего значения параметра

На сегодняшний день на многих измерительных установках интегральное значение параметра определяется среднеарифметическим методом:

$$X_{cp} = \frac{1}{M+1} \sum_{i=0}^M X_i \quad (7)$$

При сравнительной оценке погрешностей алгоритмов осреднения, целесообразно остановиться на обобщенном методе Симпсона, предложенным профессором Литвиным О.Н. [6], и на параболическом сплайне.

Интегральное значение измеряемой величины по классической формуле Симпсона может быть выражено в виде:

$$X_{\text{Симп}} = \frac{at}{63T} \frac{\partial^6}{\partial t^6} X_0 + X_M + 4 \frac{a}{v} X_v + 2 \frac{a}{k} X_k \frac{\partial}{\partial t},$$

где v – нечетные значения X ; k – четные значения X ;

X_M – конечное значение параметра при $t=T$.

Интегральное значение расхода, определяемое по обобщенной формуле Симпсона, может быть выражено в виде:

$$X_{\text{об.Симп}} = \frac{at}{63T} \frac{\partial^6}{\partial t^6} X_0 \frac{t}{6} - \frac{t}{12} (M-1) \frac{\partial}{\partial t} + X_1 \frac{t^5}{66} + \frac{t}{12} \frac{\partial}{\partial t} (M+1) - 7 \frac{\partial}{\partial t} +$$

$$+ \frac{t^{q-1}}{a} X_{2p} \times \frac{64}{63} - \frac{t}{3} (M-2p) \frac{\partial}{\partial t} + \frac{t^{q-1}}{a} X_{2p-1} \times \frac{62}{63} + \frac{t}{3} (M+1-2p) \frac{\partial}{\partial t} + X_M \frac{at}{63} + \frac{t}{12} \frac{\partial}{\partial t}$$

где p – переменная, меняющаяся от 0 до $\frac{M}{2} - 1$; $q = \frac{M+1}{2}$.

Линейный сплайн:

$$X_{\text{ЛС}} = \frac{1}{T} \frac{\partial}{\partial t} \frac{t}{t_k} \frac{\partial}{\partial t} X_k \frac{t - (k+1)t}{-t} + X_{k+1} \frac{t - kt}{t} \frac{\partial}{\partial t} \frac{dt}{\partial t} \frac{\partial}{\partial t} \quad (9)$$

Параболический сплайн:

$$X_{\text{ПС}} = \frac{t}{T} \frac{\partial}{\partial t} \frac{X_1}{2} + \frac{X_M}{2} - \frac{M-1}{a} V_{u,u+1} \times \frac{t^2}{12} \frac{\partial}{\partial t} \quad (10)$$

где $V_{u,u+1} = \frac{2(-1)^u}{t^2} \frac{\partial}{\partial t} (-1)^k (X_{k+1} - 2X_k + X_{k-1}) \frac{\partial}{\partial t} + (-1)^{u-1} V_{12}$;

$$V_{12} = \frac{1}{t} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (-1)^{k-1} (X_{k+2} - 2X_{k+1} + X_k) (M - k - 1) \frac{\partial}{\partial t}.$$

Зависимость погрешности измерений параметра в случае, когда его интегральное значение определено по обобщенной формуле Симпсона от относительной частоты опроса датчиков $f' = 2 \cdot \pi \cdot \omega / f_{\text{д}}$ представлена на рис. 6 а), а на рис. 6 б) показана подобная зависимость, но при использовании параболического сплайна.

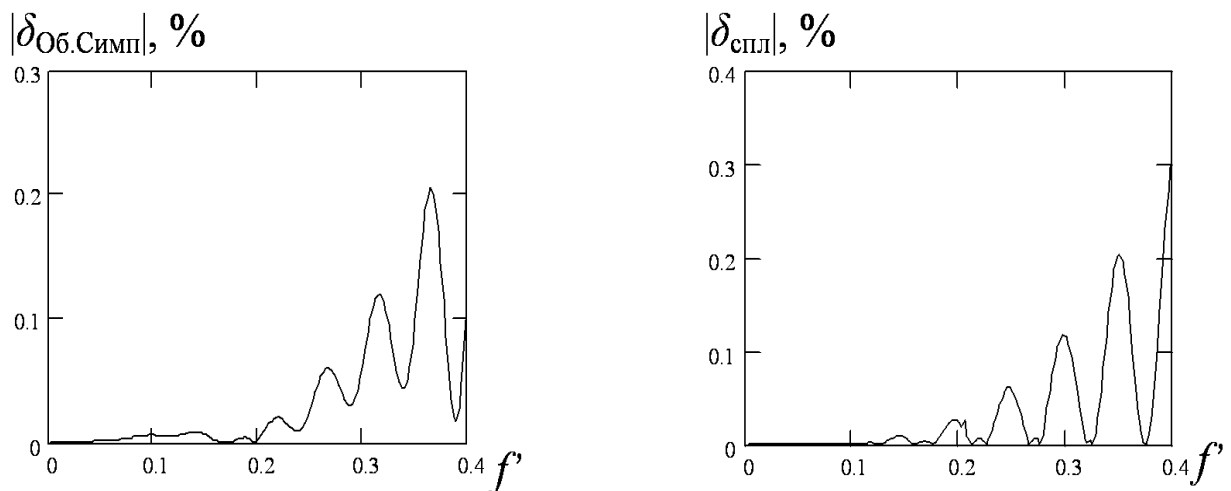


Рис. 6. Сравнение точности определения средних значений параметра

Анализ показывает, что при относительной частоте колебаний параметра $f' \leq 0,2$ погрешность определения среднеинтегрального значения, обусловленная дискретностью измерений, имеет минимальное значение при использовании обобщенного метода Симпсона и метода сплайна, в то время как при $f' \geq 0,2$ точность метода линейной аппроксимации удовлетворительна [1].

Измерения гидравлические параметры (расход, напор, давление) лежат в основе определения характеристик всех насосов, являющимися основными потребителями собственных нужд магистральных нефтепроводов. Периодические процессы, протекающие в оборудовании нефтеперекачивающей станции характеризуются большой инерционностью, что увеличивает погрешность несинфазности. Электромагнитные процессы протекают быстро, что повышает необходимость учета дискретизации и выбора метода осреднения.

С целью определения условий получения экспериментальных данных и их объема, гарантирующих достижение результатов с приемлемым минимумом погрешности, разработан программный модуль, интерфейс которого приведен на рис. 7. Модуль встраивается в общую программу САУ и/или АСУ ТП нефтеперекачивающей станции.

Модуль определяет: 1. необходимое время проведения испытаний (измерений), при котором погрешность несинфазности будет равна заданной; 2. необходимую частоту опроса датчика, при которой погрешность дискретизации будет равна заданной; 3. среднее значение параметра по методу линейной аппроксимации и обобщенному методу Симпсона.

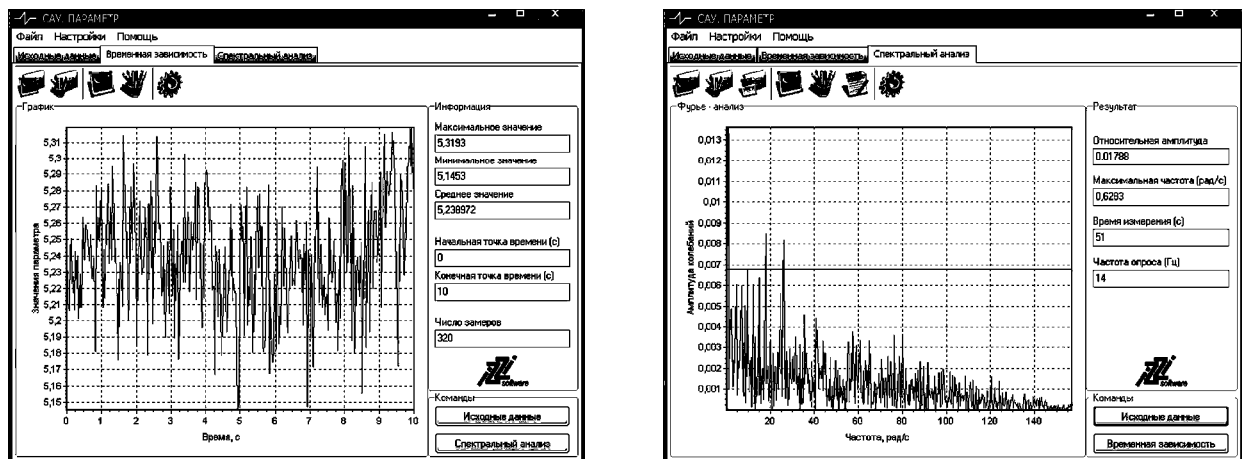


Рис. 7. Интерфейс программного модуля САУ по определению характеристик проведения эксперимента и расчету средних значений параметров объекта управления

Выводы

Предложена методика определения погрешности несинфазности, погрешности дискретизации и погрешности определения среднего значения расхода нефти, которая может быть использована при измерениях характеристик магистральных нефтепроводов. Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенной методики. Разработан

оригинальный программный модуль, позволяющий гарантировать повышение точности измерений расхода и который может входить в общее программное обеспечение САУ объектов нефтеперекачивающих станций.

Список використаних джерел:

1. Мезеря А. Ю. Удосконалення методів та підвищення точності засобів контролю параметрів моделей гідравлічних машин: дис. ... на здобуття наукового ступеня к-та техн. наук: спец. 05.11.03 / А. Ю. Мезеря. – Харків, 2005. – 181с.
2. Артюх С. Ф. Совершенствование методов повышения точности средств контроля параметров моделей гидравлических машин : монография / С. Ф. Артюх, А. Ю. Мезеря; Укр. инж.-пед. акад. – Харьков : НТМТ, 2009. – 158с.
3. Большаков В. Б. Снижение погрешностей измерения характеристик моделей гидравлических машин / В. Б. Большаков, А. Ю. Мезеря // Праці IV міжнар. наук.-тех. конф. «Метрологія та вимірювальна техніка». – Харків, 2004. –Т. 2. – С. 226-230.
4. Анализ резервов энергосбережения при управлении насосными агрегатами нефтеперекачивающих станций Украины / Г. И. Канюк [и др.] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 4. – С. 3-14.
5. Экспериментальные исследования эффективности автоматизированного энергосберегающего управления циркуляционными насосами электростанций / Г. И. Канюк [и др.] // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2015. – № 9 (140). – С. 36-42.
6. Про один метод обчислення енергетичних характеристик моделей гідромашин / С. Ф. Артюх [и др.] // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2004. – № 4. – С. 126-130.

References

1. Mezeria, AYu 2005, ‘Udoskonalennia metodiv ta pidvyshchennia tochnosti zasobiv kontroliu parametriv modelei hidravlichnykh mashyn’, Kand.tecn.n.thesis, Kharkiv.
2. Artjuh, SF & Mezerja, AYu 2009, *Sovershenstvovanie metodov povysheniya tochnosti sredstv kontrolja parametrov modelej gidravlicheskih mashin*, Ukrainskaja inzhenerno-pedagogicheskaja akademija, NTMT, Harkov.
3. Bolshakov, VB & Mezerja, AYu 2004, ‘Snizhenie pogreshnostej izmerenija harakteristik modelej gidravlicheskikh mashin’, *Pratsi IV mizhnarodnoi naukovu-tekhnichnoi konferentsii Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika*, Kharkiv, vol. 2, pp. 226-230.
4. Kanjuk, GI, Andreev, AV, Mezerya, AY & Knyazeva, VN 2015, ‘Analiz rezervov jenergosberezhenija pri upravlenii nasosnymi agregatami nefteperekachivajushhih stancij Ukrainy’, *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*, no. 4, pp. 3-14.
5. Kanjuk, GI, Mezerya, AY, Laptinov, IP, Babenko, IA & Knyazeva, VN 2015, ‘Jeksperimentalnye issledovaniya jeffektivnosti avtomatizirovannogo jenergosberegajushhego upravlenija cirkuljacionnymi nasosami jel-ektrostancij’, *Jenergosberezhenie, jenergetika, jenergoaudit*, no. 9 (140), pp. 36-42.
6. Artiukh, SF, Litvin, ON, Mezerya, AY & Babenko, KE 2004, ‘Pro odyin metod obchyslennia enerhetychnykh kharakterystyk modelei hidromashyn’, *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 4, pp. 126-130.

Стаття надійшла до редакції 8 грудня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-114-120

УДК 621.91

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ЄДИНОЇ КАРТИ КОНТРОЛЯ ЗА ТОЧНІСТЮ РОЗМІРІВ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

© Ламнауер Н. Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Ламнауер Наталія Юрївна: ORCID: 0000-0002-6779-8761; lamnaouernatali@gmail.com; доктор технічних наук; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Розглянуті питання створення інструменту контролю якості виготовлення деталей за точністю розмірів з метою попередження появи браку.

В результаті досліджень використано теоретичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики. Використання запропонованої загальної моделі розподілу лінійних розмірів деталей та знайдених оцінок її параметрів дозволяють знайти математичне очікування та дисперсію найбільшого вибіркового абсолютного відхилення від номінального розміру. На базі отриманих розрахунків будується карта контролю, що дозволяє визначити найбільшу величину, при якій необхідно провести зупинку в виготовленні виробів, не виходячи за границі поля допуску. Використання запропонованих результатів дає можливість визначити періодичність втручання в технологічний процес, де розкид лінійних розмірів з часом збільшується, а похибка в оцінці границь з кількістю виготовляємих виробів зменшується. Отримані результати дозволяють управляти точністю виготовлення деталей машин при їх механічній обробці.

Ключові слова: якість, точність, лінійний розмір, деталі машин, контроль.

Ламнауэр Н.Ю. «Принцип построения единой карты контроля по точности размеров изделий машиностроения»

Рассмотрены вопросы создания инструмента контроля качества изготовления деталей с точностью размеров с целью предупреждения появления брака.

В результате исследований использованы теоретический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Использование предложенной общей модели распределения линейных размеров деталей и найденных оценок ее параметров позволяют найти математическое ожидание и дисперсию наибольшего выборочного абсолютного отклонения от номинального размера. На базе полученных расчетов строится карта контроля, позволяет определить наибольшую величину, при которой необходимо провести остановку в изготовлении изделий, не выходя за пределы поля допуска. Использование предложенных результатов дает возможность определить периодичность вмешательства в технологический процесс, где разброс линейных размеров со временем увеличивается, а погрешность в оценке границ с количеством изготавливаемых изделий уменьшается. Полученные результаты позволяют управлять точностью изготовления деталей машин при их механической обработке.

Ключевые слова: качество, точность, линейный размер, детали машин, контроль.

Lamnauer N. «The principle of building a unified control card for the dimensional accuracy of engineering products».

The issues of creating a tool for quality control of manufacturing parts with dimensional accuracy in order to prevent the appearance of defects are considered.

As a result of research, the theoretical apparatus of probability theory and mathematical statistics was used. Using the proposed general model of the distribution of linear dimensions of parts and found estimates of its parameters allows us to find the mathematics expectation and variance of the largest absolute deviation of size from the nominal size. On the basis of the obtained calculations, a control card is constructed; it allows one to determine the largest value at which it is necessary to stop production of products without going outside the tolerance field. The use of the proposed results makes it possible to determine the frequency of intervention in the process, where the spread of linear dimensions increases with time and the error in estimating boundaries with the number of manufactured products decreases. The results obtained make it possible to control the accuracy of manufacturing machine parts during their machining.

Keywords: quality, accuracy, linear size, machine details, control.

1. Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Розвиток економіки країни не можливий без промислового виробництва. В умовах конкуренції на ринку на перший план виходить якість продукції, яка в свою чергу збільшує витрати. Задачею виробників стає створення продукції максимально можливої якості, що може забезпечити існуюча технологія. Забезпечення високої якості виготовлення деталей за параметром точності розмірів дає можливість збільшувати довговічність і надійність машин.

На сучасному промисловому підприємстві важливим елементом управління якістю є її контроль, який не тільки констатує факт появи браку, але й сприяє його запобіганню. Питання попередження браку успішно вирішуються за допомогою ймовірносно-статистичних методів управління якістю. Таким чином, створення нових принципів побудови карт контролю, що базуються на цих методах є актуальною задачею.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема забезпечення якості на основі її менеджменту з використанням статистичних методів актуальна та вирішується закордонними авторами. Так, в [1], пропонується використання статистичного контролю за короткотерміновими процесами в металургії.

В [2] запропонований підхід до побудови карти контролю якості виробів для трьох відомих законів розподілів (нормального, рівномірного та Сімпсона), що використовуються для різних квалітетів точності виготовлення деталей машин. Однак, запропонована в [3, 4] загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та знайдені оцінки її параметрів дозволяють запропонувати принцип побудови єдиної карти контролю, що може застосовуватися для будь-яких квалітетів точності.

3. Аналітичні вирази визначення значень для побудови єдиної карти контролю

Знайдемо формули, використання яких дозволить провести побудови карти для загальної моделі [3]. Для моделі [2] функцію щільності $f(x)$ для випадкових величин розміру X виробів пропонується визначати у вигляді

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin (b, c), \\ \frac{1+k}{c-b} \left(\frac{c-x}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}}, & x \in [b, a], \\ \frac{1+k}{c-b} \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}}, & x \in (a, c], \end{cases} \quad (1)$$

де a - модальне значення, b - нижня межа та c - верхня межа розміру, k - параметр форми розмірів, а функцію розподілу випадкової величини X

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{1+k}{c-b} \left(\frac{c-x}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}} / (c-b), & b < x \leq a \\ \frac{1+k}{c-b} \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}} / (c-b), & a < x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases} \quad (2)$$

Якщо випадкова величина розміру X має функцію щільності $f(x)$, то розподіл величини, найбільш віддаленої від номінального розміру a , є розподіл останньої порядкової статистики модуля випадкової величини $Z = |X - a|$ вибірки об'єму r . Функція її щільності розподілу має вигляд [5]

$$g(z_{(r)}) = r[y(z)]^{r-1}j(z), \quad (3)$$

де $j(z)$ - щільність розподілу випадкової величини Z , а $y(z)$ - функція розподілу.

Знайдемо розподіл останньої порядкової статистики модуля випадкової величини $Z = |X - a|$ вибірки об'єму r , де a є модою розподілу (1). Тоді, щільність розподілу $Z = |X - a|$ цієї випадкової величини має вигляд

$$j(z) = \begin{cases} 0, & z < 0; \\ \frac{2z(1+k) - kz \left(\frac{c-a}{c-b} \right)^{\frac{1}{k}} + \left(\frac{c-a}{c-b} \right)^{\frac{1}{k}}}{c-b}, & 0 \leq z < a-b; \\ \frac{(z+b-a)(1+k) + k(a-b) \left(\frac{c-a}{c-b} \right)^{\frac{1}{k}} + kz \left(\frac{c-a}{c-b} \right)^{\frac{1}{k}}}{c-b}, & a-b \leq z < c-a; \\ 1, & z \geq c-a, \end{cases} \quad (4)$$

якщо $a < \frac{c+b}{2}$, а при $a > \frac{c+b}{2}$

$$j(z) = \begin{cases} 0, & z < 0; \\ (1+k) \frac{c^2 - \frac{c}{c-a-b} \frac{z}{\theta} - \frac{c}{c-a} \frac{z}{\theta} \frac{\theta^{1/k}}{\theta}}{c-b}, & 0 \leq z < c-a; \\ (1+k) \frac{c^2 - \frac{c}{c-a} \frac{z}{\theta} \frac{\theta^{1/k}}{\theta}}{c-b}, & c-a \leq z < a-b; \\ 0, & z \geq c-a. \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 1 та рис. 2 подано графіки щільності розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ при різних значеннях моди a розподілу загальної моделі розміру (1). Із рисунків 1 та 2 видно, що щільність розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ із загальної моделі розподілу розміру (1) є спадною опуклою донизу функцією при параметрі форми $k > 1$ та $k < -1$. Для значень параметрів $0 < k < 1$ ця функція спадна та опукла догори.

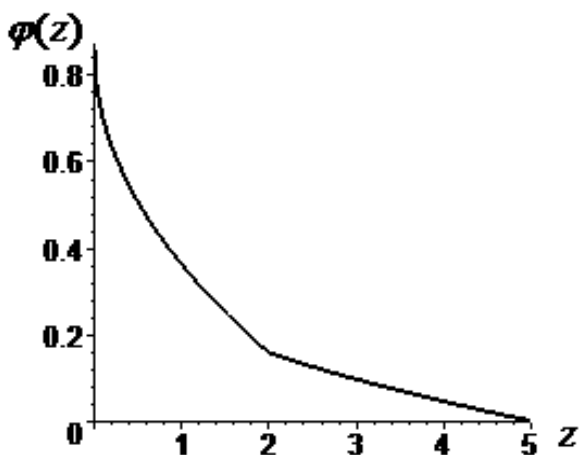


Рис. 1 - Щільність розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ із загальної моделі розподілу розміру (1) з параметрами $b=1$, $a=3$, $c=8$ та $k=2$

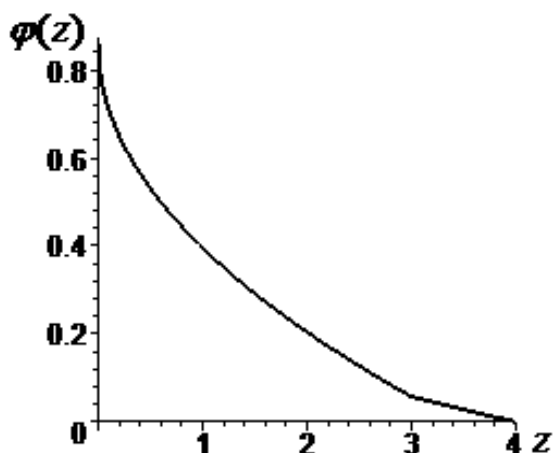


Рис. 2 - Щільність розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ із загальної моделі розподілу розміру (1) з параметрами $b=1$, $a=5$, $c=8$ та $k=2$

Функція розподілу абсолютного відхилення випадкової величини $Z = |X - a|$ загальної моделі розміру виробу (1) з модою a має вигляд

$$y(z) = \begin{cases} 0, & z < 0; \\ \frac{2z(1+k) + kz \frac{c-a}{c-b} \frac{1}{k} + \frac{c-a}{c-b} \frac{1}{k}}{c-b}, & 0 \leq z < a-b; \\ \frac{a-b+z(1+k) + k(a-c) \frac{c-a}{c-b} \frac{1}{k}}{c-b}, & a-b \leq z < c-a; \\ 1, & z \geq c-a \end{cases} \quad (6)$$

при $a < \frac{c+b}{2}$, а при $a > \frac{c+b}{2}$ ця функція має вигляд (6).

Функції $j(z)$ та $y(z)$ мають однаковий вираз як для $j(z)$, так і для $y(z)$, відмінність існує тільки в межах зміни z . Як видно із рис. 3 та 4 наявність відмінності моди a при всіх однакових інших параметрах призводить до різних функцій.

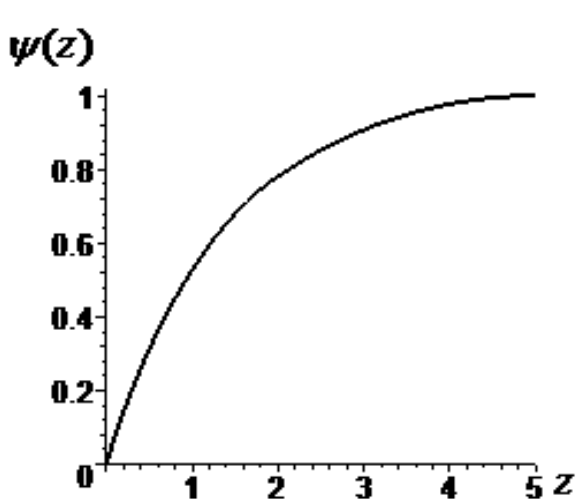


Рис. 3 - Функція розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ із загальної моделі розподілу розміру (1) з параметрами $b=1$, $a=3$, $c=8$ та $k=2$

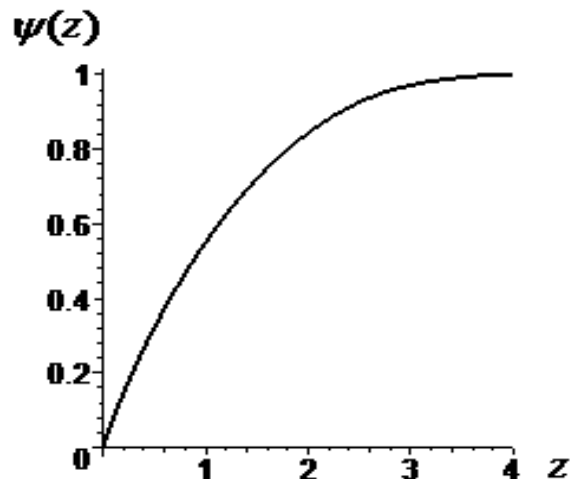


Рис. 4 - Функція розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ із загальної моделі розподілу розміру (1) з параметрами $b=1$, $a=5$, $c=8$ та $k=2$

Застосовуючи формулу (3), знаходять функцію щільності розподілу випадкової величини $Z = |X - a|$ вибірки об'єму r . Аналітичний вигляд цієї функції громіздкий. Тому вона може бути одержана в чисельному вигляді. В системі Maple створена програма даних обчислень.

На рис. 5 та рис. 6 наведено графіки щільності розподілу найбільш відділених значень від модального значення вибірки об'єму r загального розподілу розміру при заданих пара-

метрах розподілу, які мають відмінність тільки в моді. З цих рисунків видно, що існує істотна відмінність в одній моделі від величини моди. Особливо це видно в щільності розподілу найбільш відділених значень від модального значення вибірки об'єму r . При однакових параметрах загальної моделі розмірів виробів, за виключенням модальних значень, щільність вибірки розподілу найбільш відділених значень від модального значення може перейти із одномодальних до двомодальних.

Випадкова величина найбільш відділених значень від модального значення вибірки об'єму r загального розподілу розмірів для різних модальних значень має різний розмах, математичне очікування та дисперсію. Так, при параметрах $r=5$, $b=1$, $a=3$, $c=8$ та $k=2$ математичне очікування $M(X) \gg 2,66$ і дисперсія $D(X) \gg 1,01$, а для параметрів $r=5$, $b=1$, $a=5$, $c=8$ та $k=2$ $M(Z) \gg 2,16$ і $D(Z) \gg 0,51$.

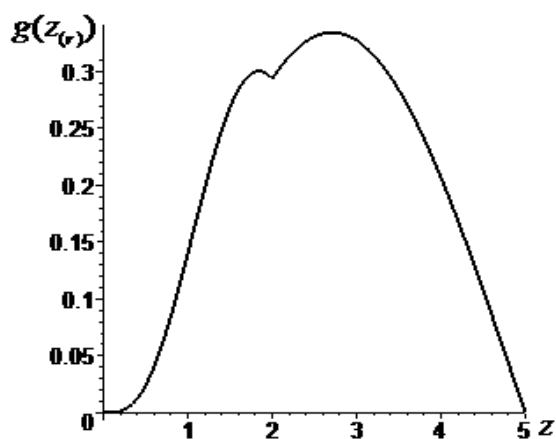


Рис. 5 - Щільність розподілу найбільш віддалених значень від модального значення вибірки об'єму $r = 5$ загального розподілу при параметрах $b = 1$, $a = 3$, $c = 8$ та $k = 2$

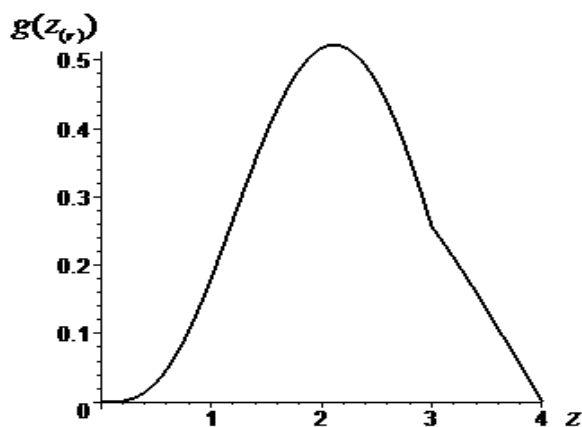


Рис. 6 - Щільність розподілу найбільш віддалених значень від модального значення вибірки об'єму $r = 5$ загального розподілу при параметрах $b = 1$, $a = 3$, $c = 8$ та $k = 2$

Відношення дисперсії випадкової величини, яка має загальну модель розподілу розмірів, до дисперсії випадкової величини найбільш віддалених значень від модального значення вибірки деякого об'єму r з цього розподілу розмірів, завжди більше одиниці. Так, це відношення з параметрами $r=5$, $b=1$, $a=5$, $c=8$ та $k=2$, дорівнює 3,45.

Використовуючи формули (3), (4), (5) і (6) для будь-якого r визначаємо величини $M(Z)$ та $D(Z)$ за знайденими параметрами моделі (1). Знаючи поле допуску і ці величини, знаходимо нижню та верхню границі контрольної карти лінійних розмірів за методикою з [2].

Всі результати, що одержано за допомогою складеної програми в системі Maple дозволять швидко визначити, коли слід зупинити виготовлення виробів, що попередити появу браку.

Висновки

Запропонований принцип побудови карти контролю точності лінійного розміру деталей містить обчислення математичного очікування та дисперсію найбільшого вибіркового абсолютного відхилення від номінального розміру, що робить її єдиною. Карта контролю може бути застосована для будь-яких квалітетів точності, оскільки використовує загальну модель розподілу розмірів. Використання карти контролю, що побудована за запропонованим принципом дозволяє визначити період підналагодження обладнання.

Список використаних джерел:

1. Noskievicova D. Design of Methodology for Application of Statistical Control on Short Run Process in Metallurgy / D. Noskievicova, B. Woska // *Metallurgy, Hrvatsko metalurško društvo*. – 2014. – Vol. 1 – P. 81-84.
2. Ламнауэр Н. Ю. Контрольная карта для различных квалітетов точности / Н. Ю. Ламнауэр // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2011. – № 3/7 (51) . – С. 23-26.
3. Ламнауэр Н. Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів / Н. Ю. Ламнауэр // *Вісник НТУ «ХПІ»* : зб. наук. пр. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 54. – С. 134-143.
4. Ламнауэр Н. Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки / Н. Ю. Ламнауэр // *Вісник НТУ «ХПІ»* : зб. наук. пр. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2012. – № 27. – С. 98-107.
5. Дейвид Г. Порядкове статистики / Г. Дейвид; пер. с англ. В. А. Егорова, В. Б. Невзорова. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 336 с.

References

1. Noskievicova, D & Woska B 2014, 'Design of Methodology for Application of Statistical Control on Short Run Process in Metallurgy', *Metallurgy, Hrvatsko metalurško društvo*, vol.1, pp. 81-84.
2. Lamnaujer, NJu 2011, 'Kontrolnaja karta dlja razlichnyh kваліtetov tochnosti', *Skhidno-Yevropejskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, no. 3/7 (51), pp. 23-26.
3. Lamnaujer, NJu 2013, 'Zahalna model rozpodilu liniinykh rozmiriv detalei ta yii zastosuvannia dlja polipshennia yakosti vyrobiv', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Tematychnyi vypusk Matematychnе modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 54, pp. 134-143.
4. Lamnaujer, NJu 2012, 'Model raspredelenija razmerov izdelij i ee primenenie dlja ocenki tochnosti obrabotki', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Tematychnyi vypusk Matematychnе modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 27, pp. 98-107.
5. Dejvid, G 1979, *Porjadkove statistiki*, Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 30 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-121-128

УДК 621.9.02

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЕРОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗОНІ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ПРОФІЛЮ ОТВОРУ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

©Лаппо І. М.¹, Гордєєв А. С.²*Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України¹**Українська інженерно-педагогічна академія²*

Інформація про авторів:

Лаппо Ірина Миколаївна: ORCID: 0000-0001-9243-9763; spinnex@i.ua; кандидат технічних наук; старший науковий співробітник відділення наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем, метрологічної експертизи відділу наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем та метрологічного забезпечення управління наукових досліджень і випробувань інформаційно-вимірювальних систем та метрологічного забезпечення випробувань; Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна.

Гордєєв Андрій Сергійович: ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою роботи є дослідження робочих процесів у зоні різання під час оброблення отворів і розробка на цій основі практичних рекомендацій щодо підвищення точності оброблення отворів за рахунок зменшення похибки його профілю.

Встановлено найбільш важливі вхідні параметри і визначено ступінь їх впливу на розподіл температури деталі в зоні різання під час оброблення отворів осьовим інструментом. Визначено основні методи усунення або мінімізації спотворення профілю отвору, які полягають в компенсації взаємного впливу різних параметрів на спотворення профілю деталі і диференціації величини найбільш важливих керованих параметрів по глибині отвору.

Встановлено, що найбільше впливає на розбиття отвору швидкість різання. Підвищення швидкості різання в межах дослідженого інтервалу швидкостей призводить до збільшення розбиття отвору через збільшення інтенсивності теплових потоків і збільшення температурних деформацій інструменту та деталі. Збільшення глибини різання та подачі також сприяє збільшенню розбиття отвору, проте їх вплив менш істотний.

Ключові слова: температурні деформації, швидкість різання, осьовий інструмент, керовані параметри, точність оброблення.

Гордеев А. С., Лаппо И. Н. «Исследование влияния управляемых параметров в зоне резания на точность профиля отверстия при обработке осевым инструментом».

Целью работы является исследования рабочих процессов в зоне резания во время обработки отверстий и разработка на этой основе практических рекомендаций по повышению точности обработки отверстий за счет уменьшения погрешности его профиля.

Установлены наиболее важные входные параметры и определена степень их влияния на распределение температуры детали в зоне резания при обработке отверстий осевым ин-

струментом. Определены основные методы устранения или минимизации искажения профиля отверстия, которые заключаются в компенсации взаимного влияния различных параметров на искажение профиля детали и дифференциации величины наиболее важных управляемых параметров по глубине отверстия.

Установлено, что наибольшее влияние на разбивку отверстия оказывает скорость резания. Повышение скорости резания в пределах исследованного интервала скоростей приводит к увеличению разбивки отверстия из-за увеличения интенсивности тепловых потоков и увеличения температурных деформаций инструмента и детали. Увеличение глубины резания и подачи также способствует увеличению разбивки отверстия, однако их влияние менее существенно.

Ключевые слова: температурные деформации, скорость резания, осевой инструмент, управляемые параметры, точность обработки.

Hordeev A., Lappo I. «Research of the influence of controlled parameters in the cutting zone on the accuracy of the hole profile when treatment with an axial tool».

The relevance of studying the thermophysical processes of machining is due to the fact that the heat released during the cutting operation largely determines the load on the cutting tool, his firmness and also quality and accuracy of the sizes of the processed surfaces.. Therefore, the researches of working processes in the cutting zone during hole machining and the development on this basis of practical recommendations for improving the hole machining accuracy by reducing the error of its profile is an important scientific and practical task in the field of processing by cutting.

The most important input parameters were established and the degree of their influence on the temperature distribution of a detail in the cutting zone when processing holes is defined by the axial tool. The main methods of eliminating or minimizing the distortion of the hole profile are defined, which consist in compensation for the mutual influence of various parameters on the distortion of a profile of a detail and differentiation of magnitude of the most important controlled parameters by the depth of the hole.

It has been established that the cutting speed has the greatest impact on the breakdown of the hole. An increase in the cutting speed within the studied interval of speeds leads to increasing in the breakdown of the hole due to an increase in the intensity of heat fluxes and an increase in temperature deformations of the tool and a detail. Increase in depth of cutting and feed also contributes to an increase in the breakdown of the hole, but their influence is less significantly.

Keywords: temperature deformation, cutting speed, axis tool, controlled parameters, accuracy of treatment.

1. Вступ

Оброблення отворів осьовим інструментом є однією з найбільш відповідальних операцій механічного оброблення, оскільки більшість отворів є базовими поверхнями для інших деталей. Для забезпечення потрібної якості отвору під час його оброблення осьовим лезовим інструментом зазвичай застосовують операції чистового оброблення – розверстування та зенкерування, яким притаманні мінімальні швидкості різання. Однак, навіть такі режими не

дозволяють повністю усунути похибки профілю отвору, який має характерну бочкоподібну форму, що пов'язано з особливостями температурних деформацій деталі та інструменту. Тому для оцінювання точності профілю отвору важливою науковою та практичною задачею є прогнозування температурного стану деталі та інструменту в зоні різання [1].

Відомо, що однією з причин, яка викликає спотворення поперечного профілю отвору під час його оброблення осьовим інструментом є температурні деформації деталі в зоні різання [2, 3]. В роботах [2-6] було показано, що навіть при мінімальних режимах різання, характерних для операцій чистового оброблення отворів, форма профілю отвору має виражений бочкоподібний вид, тому на даний час основними методами усунення або мінімізації спотворення профілю отвору є компенсація взаємного впливу різних параметрів, що впливають на спотворення профілю деталі й диференціація величини найбільш важливих керованих параметрів по глибині отвору [3]. З урахуванням цього були поставлені завдання виявлення найбільш важливих вхідних параметрів, що впливають на температурні деформації деталі, величиною яких можна керувати при розробленні технологічних процесів чистового оброблення отворів, та визначення ступеня їх впливу.

2. Вплив температурних деформацій на точність оброблення отвору

Відомо, що одним із основних небажаних наслідків впливу температурних деформацій на точність оброблення отвору є спотворення його профілю, яке приймає характерну бочкоподібну форму, що складається із розбиття $d_p = (d_{\max} - d_{\text{ном}}) / 2$, яке характеризує максимальне відхилення фактичних розмірів отвору від номінальних, і бочкоподібності $d_\sigma = [d_{\max} - (d_k + d_n) / 2] / 2$, яке характеризує відхилення профілю від прямолінійності, де $d_{\max}$ – максимальне значення діаметра обробленого отвору, $d_{\text{ном}}$ – номінальний діаметр отвору, d_n і d_k – діаметр на початку і в кінці отвору після оброблення [4].

Аналіз складових похибки оброблення отвору показав, що при малих швидкостях різання, характерних для чистових операцій оброблення отвору, сумарна похибка діаметра в довільному перерізі отвору залежить від величини температурних деформацій деталі δ_1 і інструмента δ_2 , пружних контактних деформацій деталі δ_3 і інструмента δ_4 по задній поверхні інструмента.

В результаті досліджень [7] було встановлено, що параметри δ_3 і δ_4 практично постійні по всій довжині отвору, а δ_1 і δ_2 мають складну нелінійну залежність від глибини оброблення отвору x . Пружні зміщення контактних поверхонь інструмента δ_4 і деталі δ_3 сприяють усадці отвору, температурні деформації інструмента δ_2 сприяють розбиттю отвору, а темпе-

ратурні деформації деталі δ_1 в залежності від товщини стінок можуть викликати як розбиття отвору, так і його усадку.

Встановлено також, що овальність профілю на початку отвору визначається нелінійністю температурних деформацій інструмента й деталі. Бочкоподібна форма в кінці отвору визначається тільки температурними деформаціями деталі [8, 9]. Фактичний діаметр отвору $d_{\text{факт}}(x)$ визначається як:

$$d_{\text{факт}} = d_{\text{ном}} \pm k_0 d_1 + k_0 d_2 - d_3 - d_4,$$

де k_0 – коефіцієнт, який враховує зниження температурних деформацій при охолодженні МОТС.

Для побудови моделі залежності точності оброблення від температури була використана регресійна модель на основі плану ПФЕ 2ⁿ.

$$Q(d_1, d_2, d_3, d_4) = 1,37 + 0,145d_1 + 0,15d_3 - 0,015d_1d_4 + \\ + 0,005d_2d_3 - 0,01d_3d_4 + 0,015d_1d_2d_3d_4$$

Аналіз фахової літератури показав, що на температурний стан зони різання на поверхні деталі під час оброблення отворів впливають не тільки фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, а й режими різання та геометричні розміри деталі. Такі фактори як механічні й теплофізичні властивості матеріалів інструменту та деталі, параметри зносу є некерованими й їхній вплив можна лише враховувати на основі математичного моделювання утворення профілю отвору. Такі фактори як геометрія інструменту та глибина різання є умовно керованими, оскільки їхню величину неможливо змінити безпосередньо в процесі оброблення. Враховуючи можливості сучасного обладнання можна зазначити, що під час оброблення отворів керованими параметрами є швидкість різання та подача [3].

Чисельними дослідженнями встановлена залежність температури в зоні різання при розверстуванні в залежності від режимів різання (рис.1). Виявлено, що основними керованими параметрами, які визначають характер розподілу температур для довільного положення теплового джерела є швидкість різання V , подача S , глибина різання t . Дані дослідження підтверджуються математичною залежністю: $Q = C_Q \times V^m \times S^n \times t^q$, де C_Q – коефіцієнт, який залежить від роду й механічних властивостей оброблюваного матеріалу та геометричних параметрів інструменту й мастильно-охолоджувальної рідини [10]. При будь-яких видах оброблення величини показників степені неоднакові: $m > n > q$, що підтверджує найбільший вплив швидкості різання на температуру різання. Результати оброблення експериментальних даних дозволяють побудувати модель впливу операцій технологічного процесу на вихідну якість:

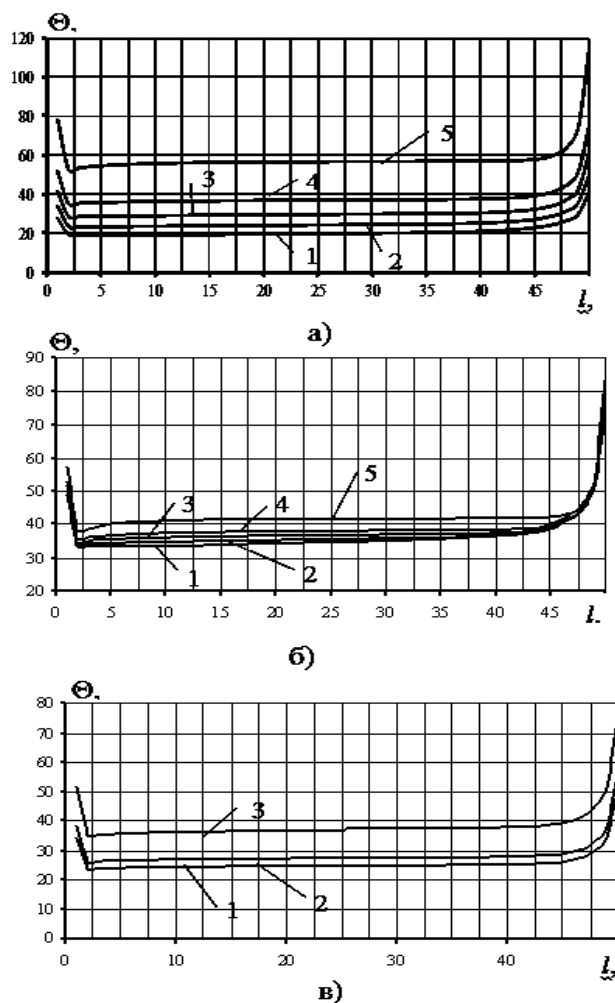


Рис. 1 – Залежність температури в зоні різання: а) від швидкості різання: 1) $V=4$ м/хв.; 2) $V=5$ м/хв.; 3) $V=6,3$ м/хв.; 4) $V=8$ м/хв.; 5) $V=13,3$ м/хв.; б) від подачі: 1) $S=0,4$ мм/об; 2) $S=0,6$ мм/об; 3) $S=0,8$ мм/об; 4) $S=1,2$ мм/об; 5) $S=1,6$ мм/об; в) від глибини різання: 1) $t=0,075$ мм; 2) $t=0,1$ мм; 3) $t=0,2$ мм

$$Dd(V, S, t) = \frac{0,0556 + 0,078S^{0,2} - 0,003d_u}{0,0598V}$$

На рис. 2-3 надані графіки, які були отримані за теоретичними розрахунками та експериментальними даними під час свердління. Перевірка однорідності дисперсії при однаковому числі повторних дослідів у всіх точках плану виконувалась за критерієм Кохрена, де $s_{i\max}^2 = 0,028$ на початку отвору, $s_{i\max}^2 = 0,038$ в середині й $s_{i\max}^2 = 0,043$ в кінці отвору, $G_{(0,05;4;8)} = 0,391$ – табличне значення критерію Кохрена при 5 % рівні значущості. Для свердління отвору $G = 0,028/0,126 = 0,222$. Гіпотеза про однорідність дисперсій приймається, оскільки табличні значення G перевищують розрахункові. Відхилення експериментальних даних від теоретичних не перевищує 5 %, що вказує на високу степінь адекватності отриманих моделей.

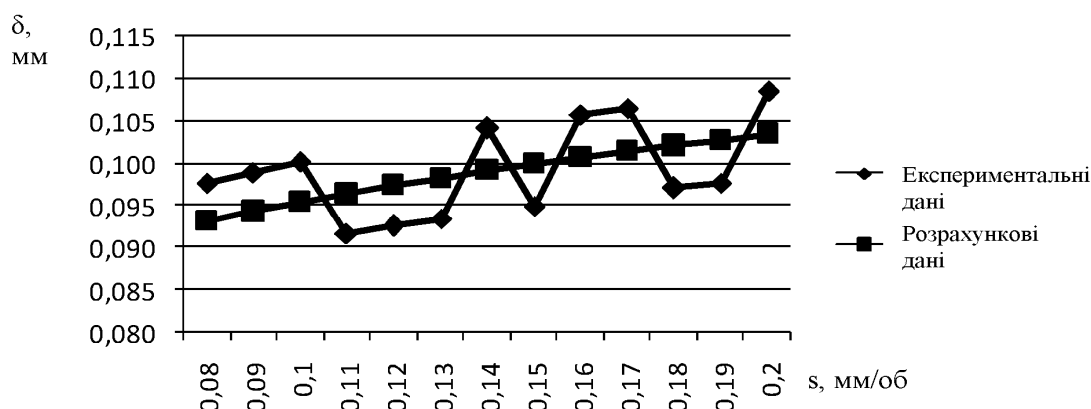


Рис. 2 – Оцінка адекватності моделі залежності точності обробки δ від подачі s при свердлінні: сталь 45, $d = 16$ мм, $l = 25$ мм, $V = 26,28$ м/хв

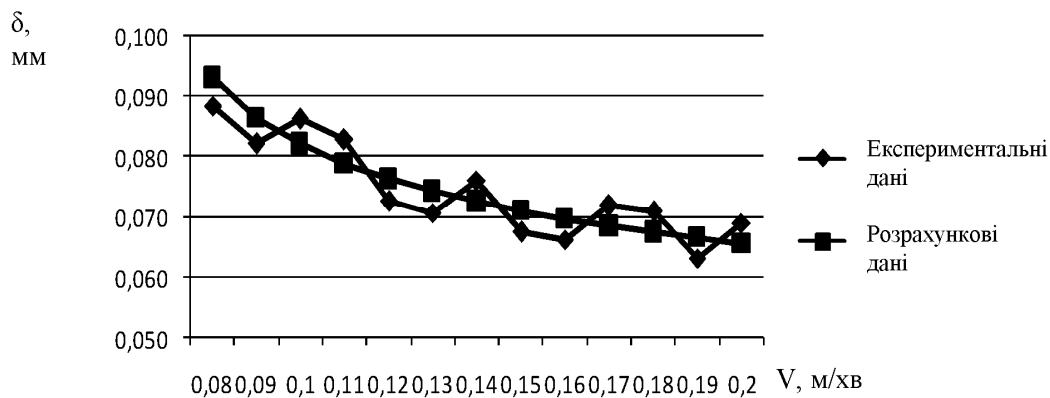


Рис. 3 – Оцінка адекватності моделі залежності точності обробки δ від швидкості різання V при свердлінні: $d = 16$ мм, $l = 25$ мм, $s = 0,08$ м/хв

Експериментальна перевірка показала, що розбиття отвору ($d = 12$ мм) під час свердління: при призначенні режимів за довідником [11, 12] склало $\delta = 15,6$ мкм; за отриманими залежностями $\delta = 12,3$ мкм; розбиття отвору під час зенкерування: при призначенні режимів за довідником [11, 12] склало $\delta = 4,13$ мкм; за отриманими залежностями $\delta = 3,14$ мкм. Таким чином, запропонована методика дозволяє підвищити точність оброблення отворів на 20 – 25 %. У виробничих умовах були проведені експериментальні дослідження відповідно до викладеної методики. Основною метою експерименту була перевірка адекватності результатів чисельного та аналітичного моделювання форми та розмірів подовжнього профілю отвору.

Залежності розбиття отвору в деталі зі Сталі 45 від параметрів режимів різання при свердлінні, зенкеруванні та розверстуванні з обмеженим охолодженням мають вигляд відповідно:

$$Dd_c(V, S, t) = 0,2588 + 0,1283V + 3t. \quad (1)$$

$$Dd_z(V, S, t) = 1,4736 + 0,6106V + 0,15S + 6,3t. \quad (2)$$

$$Dd_p(V, S, t) = -0,4097 + 0,3827V + 0,1687S. \quad (3)$$

Аналогічні залежності, отримані при охолодженні 5 % розчином емульсолу, мають вигляд:

$$Dd_c(V, S, t) = 0,2213 + 0,1032V + 2,85t \quad (4)$$

$$Dd_z(V, S, t) = 1,1276 + 0,4284V + 0,132S + 5,51t. \quad (5)$$

$$Dd_p(V, S, t) = -0,425 + 0,261V + 0,1492S. \quad (6)$$

Аналіз залежностей (1-6) показує, що найбільше впливає на розбиття отвору швидкість різання. Збільшення швидкості різання в межах дослідженого інтервалу швидкостей

призводить до збільшення розбиття отвору (до 3,5 мкм) за рахунок збільшення інтенсивності теплових потоків і збільшення температурних деформацій інструменту та деталі. Збільшення глибини різання та подачі також сприяє збільшенню розбиття отвору, проте їх вплив менш істотний (0,2 мкм при збільшенні подачі й 0,6 мкм при збільшенні глибини різання).

Висновки

В ході проведеного дослідження були вирішені поставлені завдання:

- виявлені найбільш важливі вхідні параметри, що впливають на температурні деформації деталі, величиною яких можна управляти при розробці технологічних процесів чистової обробки отворів – це режими різання: швидкість різання V , подача S , глибина різання t ;
- визначено ступінь їхнього впливу: температурний стан в зоні різання в значній мірі залежить від швидкості різання, в меншій – від подачі і зовсім незначний вплив надає глибина різання.

Невирішеним є питання залежності температурних деформацій від теплофізичних властивостей матеріалу деталі. Насущними і перспективними завданнями подальших досліджень є компенсація взаємного впливу параметрів, що впливають на спотворення профілю деталі і диференціація величини найбільш важливих керованих параметрів по глибині отвору.

Список використаних джерел:

1. Татьяначенко А. Г. Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом / А. Г. Татьяначенко, И. Н. Лаппо // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2013. – Вип. 140/213. – С. 178-183.
2. Резников А. Н. Термоупругие деформации изделия и инструмента в процессе развертывания / А. Н. Резников, Л. Е. Яценко // Теплофизика технологических процессов : межвед. науч. сб. – Саратов : Изд. Саратовского ун-та, 1973. – Вип. 1. – С. 24-35.
3. Татьяначенко О. Г. Теоретичні основи прогнозування термопружних деформацій осьового інструменту і деталі і їх вплив на точність обробки отворів : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати і інструменти»/ О. Г. Татьяначенко. – Донецьк : ДонНТУ, 2006. – 36 с.
4. Tatianchenko A.G. Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument / A. G. Tatianchenko, I. N. Lappo, T. M. Brizhan // IX Международная конференция «Strategy of Quality in Industry and Education»: Материалы. В 3-х т. – Варна, 2013. – Т. 3. – С. 202-207.
5. Малышко И. А. Температурные деформации детали при обработке отверстий / И. А. Малышко, А. Г. Татьяначенко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный : сб. науч. тр. – Донецк, 2001. – Вип.17. – С. 45-51.
6. Малышко И. А. Температурное состояние детали при развертывании отверстий / А. И. Малышко, А. Г. Татьяначенко, С. И. Бочаров // Вісник інженерної академії. – Київ, 2001. – №3. – С. 231-233.
7. Лаппо І. М. Удосконалення нормативної документації забезпечення якості лезової обробки отворів : дис.. канд. техн. наук : 05.01.02 / І. М. Лаппо. – Харків, 2016. – 181 с.
8. Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент / А. М. Даниелян. – М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 454 с.

9. Розенберг Ю. А. Резание материалов : учебник для вузов / Ю. А. Розенберг. – Курган : Зауралье, 2007. – 294 с.
10. Ящерицын Т. И. Теория резания : учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.
11. Методические указания. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051–81): РД 50–98–89 – М. : Изд-во стандартов. – 1987. – 80 с.
12. Силин Р. И. Анализ процесса снятия стружки металла режущим клином / Р. И. Силин, А. А. Мясищев, С. С. Ковальчук // Известия вузов – Машиностроение, 1989. – № 2. – С. 145-148.

References

1. Tatjanchenko, AG & Lappo, IN 2013, 'Osobennosti razvitija teplovyh processov pri chistovoj obrabotke otverstij kombinirovannym osevim instrumentom', *Visnyk Sevastopolskoho natsionalnoho tekhnichnoho universyteta*, Seriya: Mashynopryladobuduvannia ta transport, Sevastopol, iss. 140/213, pp. 178-183.
2. Reznikov, AN & Jacenko, LE 1973, 'Termouprugie deformacii izdelija i instrumenta v processe razvertyvaniya', *Teplofizika tehnologicheskikh processov*, Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, Saratov, iss. 1, pp. 24-35.
3. Tatjanchenko, OH 2006, 'Teoretychni osnovy prohnozuvannia termopruzhnnykh deformatsii osovoho instrumentu i detali i yikh vplyv na tochnist obrobky otvoriv', *Doct.tech.n. abstract, Donetskyy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, Donetsk*.
4. Tatjanchenko, AG, Lappo, IN & Brizhan, TM 2013, 'Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument', *IX Mezhdunarodnaja konferencija «Strategy of Quality in Industry and Education»*, Varna, vol. 3, pp. 202-207.
5. Malyshko, IA & Tatjanchenko, AG 2001, 'Temperaturnye deformacii detali pri obrabotke otverstij', *Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija*, Doneck, iss.17, pp. 45-51.
6. Malyshko, IA, Tatjanchenko, AG & Bocharov, SI 2001, 'Temperaturnoe sostojanie detali pri razvertyvanii otverstij', *Visnyk inzhenernoi akademii*, Kyiv, no. 3, pp. 231-233.
7. Lappo, IM 2016, 'Udoskonalennia normatyvnoi dokumentatsii zabezpechennia yakosti lezovoi obrobky otvoriv', *Kand.tech.n. thesis, Kharkiv*.
8. Danieljan, AM 1950, *Rezanie metallov i instrument*, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj literatury, Moskva.
9. Rozenberg, JuA 2007, *Rezanie materialov*, Zaurale, Kurgan.
10. Jashhericyn, TI, Feldshtejn, EJe & Kornievich, MA 2006, *Teorija rezanija*, 2nd edn, Novoe znanie, Minsk.
11. *Metodicheskie ukazaniya. Vybory universal'nykh sredstv izmerenija linejnykh razmerov do 500 mm. (Po primeneniju GOST 8.051–81): RD 50–98–89 1987*, Izdatelstvo standartov, Moskva.
12. Silin, RI, Mjasishhev, AA & Kovalchuk, SS 1989, 'Analiz processa snjatija struzhki metalu rezhushhim klinom', *Izvestija vuzov – Mashinostroenie*, no. 2, pp. 145-148.

Стаття надійшла до редакції 23 листопада 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-129-134

УДК 621.92

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОНОРЕЛЬСОВОГО ПУТИ УСИЛЕННОГО ПРИВАРКОЙ ПОЛОСЫ

©Резниченко Н.К. Дереза К.А.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Резниченко Микола Кирилович: ORCID: 0000-0002-6989-0270; rezlynik@ukr.net; доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

Дереза Кирило Олексійович: ORCID: 0000-0001-7965-8371; scirill@gmail.com; студент факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій в виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті розглянута актуальна проблема, що має народногосподарське значення – це ефективне використання стандартного прокатного профілю, а саме таврового і двотаврового перетину, як монорейкових шляхів підвісних кранів і конвеєрів. Дана оцінка напруженого стану монорельса при вертикальному і поперечному навантаженні.

Виконано аналіз і досліджена робота напруженого стану монорельса посиленого приварюванням смуги. Розглянуто способи посилення приварюванням поперечних або поздовжніх кромочних полос і показана недоцільність таких рішень.

Дано аналіз і отримано розрахункові залежності для оцінки їздових полиць двотавру за допомогою привареної смуги раціональної товщини. Результати теоретичних досліджень підтверджені експериментально.

Ключові слова: двутавр, балка, напружений стан, приварка; смуга, посилення; дослідження, профіль, монорейки.

Резниченко Н.К. Дереза К.А. «Исследование работы монорельсового пути усиленного приваркой полосы»

В статье рассмотрена актуальная проблема, которая имеет народнохозяйственное значение – это эффективное использование стандартного прокатного профиля, а именно таврового и двутаврового сечения, в качестве монорельсовых путей подвесных кранов и конвейеров. Дана оценка напряженного состояния монорельса при вертикальной и поперечной нагрузках.

Выполнен анализ и исследована работа напряженного состояния монорельса усиленного приваркой полосы. Рассмотрено способы усиления приваркой поперечных или продольных кромочных полос и показана целесообразность таких решений.

Дан анализ и получены расчётные зависимости для оценки ездовых полок двутавра с помощью приваренной полосы рациональной толщины. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментально.

Ключевые слова: двутавр, балка, напряженное состояние; приварка; полоса, усиление; исследование, профиль, монорельса.

Reznichenko N. Dereza K. «Analysis of the work of the monorail in the stressed state, reinforced by the welding strip».

The article considers the actual problem of national economic importance — it is an effective use of a standard rolling profile, namely, T-shaped and I-beam sections, as monorail tracks of overhead cranes and conveyors. An assessment of the stress state of monorail with vertical and transverse loads is given.

Performed analysis of the work of the monorail in the stressed state, reinforced by the welding strip. The ways of welding of transverse or longitudinal edge strips of I-beam by welding are considered and the expediency of such solutions is shown.

The analysis is given and the calculated dependencies are obtained on riding shelf with welded strip of rational thickness. The results of theoretical studies are confirmed experimentally.

Keywords: I-beam, beam, stress state, welding, band, gain; study, profile, monorail.

1. Введение

Балки двутаврового профиля широко применяются в строительстве, являясь элементами мостов, цеховых конструкций, промышленных и гражданских зданий. Преимуществом профиля в данном случае является эффективная работа на изгиб в плоскости большой жесткости, хорошо работают двутавры и на продольный изгиб. Другая область применения двутавров – пути подвешного транспорта, речь идет о путях перемещения электроталей, подвешных кранов, тележек подвешных конвейеров, в ряде случаев двутавры являются элементами кранбалок, поясами пролетных балок козловых кранов и т.д. В этом случае имеет место работа полок двутавра на изгиб под нагрузками, передаваемыми колесами грузовых тележек. Во многих случаях двутавр работает одновременно и как элемент несущей конструкции, например, ригель козлового крана, и как ездовая балки, воспринимающая подвижные нагрузки.

Использование стандартного проката в качестве путей передвижения ставит вопрос об усилении несущей способности монорельсового пути.

2. Анализ литературных источников

Подвешные монорельсовые пути являлись объектом исследования многих специалистов – П.Ф.Папковича, Мак-Грегора, Т.И.Джарамилло, С.П.Тимошенко, В.И.Макрушина, Б.М.Розеншейна, Н.П. Флейшмана, Ю.Г.Розенталя, Б.С.Ковальского, А.М.Шуна, G.Mendel, P.Heile, H.O.Hannovera и др.

Отметим, что одно из первых решений задачи, опирающееся на основные положения теории упругости было дано П.Ф.Папковичем. Рассмотрев изгиб длинной консольной пластинки, автор рассматривает изгиб двутавра, и не учитывает при этом деформацию стенки.

Ближкие результаты получены также и другими авторами. Теоретические решения рассматриваемой задачи получили убедительную апробацию в экспериментах Б.М.Розеншейна, охвативших также двутавры усиленные приваркой полосы.

Случай несимметричного нагружения (нагрузка одной полки) весьма полно рассмотрен Ю.Г.Розенталем, - исследовалась модель из вертикальной стенки и двух полуполок, сопрягаемых по оси, предполагаемой недеформируемой.

Решение без указанного допущения получено Б.С.Ковальским и А.М.Щуном, ими же дано решение для полки переменной толщины.

2. Цель и задачи исследования

Исследовать и оценить напряженное состояния монорельса, усиленного приваркой полосы и предложить метод расчета в балке.

3. Изложение основного материала

Расчет двутавра складывается из оценки напряжений общего изгиба в вертикальной и горизонтальной плоскостях, и определения напряжений в ездовой полке, что представляет некоторую сложность, т.к. необходима учесть влияние высоты и толщины стенки, радиуса сопряжения полки со стенкой, переменной толщины самой полки, а также зоны распространения напряжений от вертикальной нагрузки, и места приложения последней.

При нагружении полки двутавра колесами грузовых тележек грузоподъемностью свыше 80...100 кН даже специальные двутавры по ГОСТ 19425-77, не удовлетворяют прочностным требованиям, и тогда прибегают к усилению, чаще всего путем приварки полосы к ездовой полке.

Способы усиления (приварка поперечных или продольных кромочных полос) не нашли широкого распространения из – за низкой технологичности и сильного коробления двутавра от сварочных швов, поэтому самым простым и технологичным способом является приварка сплошной полосы.

Предполагают, что сварные швы обеспечивают совместную работу полки и полосы, как балки цельного сечения.

На самом деле картина напряженного состояния более сложна.

В работе приводится более убедительное решение, исключая отмеченную ошибку. Полка двутавра деформируется под воздействием давления колеса P , и сил в сварном шве, - момента M_0 , и поперечного усилия, сжимающего (или растягивающего) полку. При малых длинах элементов расчет деформаций сложен, и решение задач лежит, по нашему мнению, в плоскости эксперимента. Приближенные же решения могут быть получены. Например, можно допустить, что сечение шва является жестким и углы поворота концов полки и полосы равны (рис.1) $\varphi_1(P, M_0) = \varphi_2(M_0)$ – так обычно поступают в расчетах неопределимых систем, в расчетах влияния жесткости элементов на их деформации, в фермах и других конструкциях. В этом случае имеем

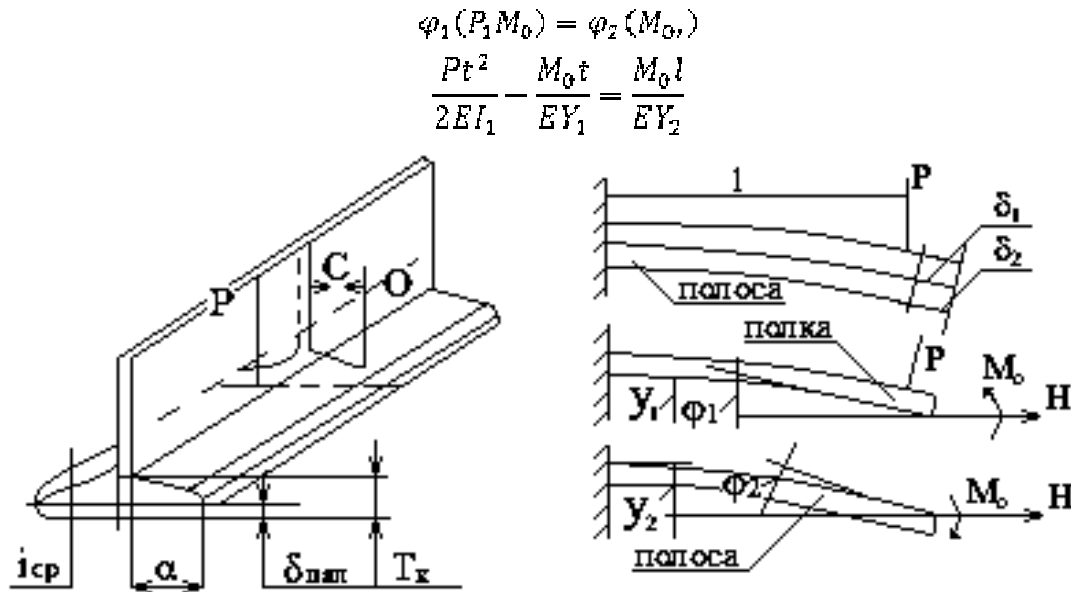


Рис.1 – Расчетная схема усиленного двутавра

$$M_0 = \frac{P l}{2(1 + I_1/I_2)}$$

и момент в полке у стенки

$$M_n = P l - M_0 - \theta P l$$

откуда

$$\theta = 1 - \frac{1}{2(1 + \delta_1^2/\delta_2^2)}$$

В общем случае $0 < \delta_2 < \infty$, имеем $1 > \theta > 0,5$, т.е. при любой толщине листа мы можем уменьшить момент в полке не более чем вдвое например, при

$$\delta_2/\delta_1 = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4. \theta = 0,75; 0,61; 0,55; 0,53; 0,52; 0,51$$

Расчеты справедливы когда между полки двутавра и полосой возникает "щель".

Прогиб полки от нагрузки P и момента M_0

$$y_1(x) = \frac{P}{6 E Y_1} (3 l^2 x - x^3) - \frac{M_0}{2 E Y_1} (2 l x - x^2),$$

и полосы M_0

$$y_2(x) = \frac{M_0}{2 E Y_2} (2 l x - x^2).$$

Следует выяснить, имеет ли место неравенство $y_1(x) > y_2(x)$ при $0 < x < l$

$$\frac{P}{6 Y_1} (3 l^2 x - x^3) > \frac{M_0}{2} \left(\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} \right) (2 l x - x^2)$$

После подстановки M_0 и преобразований получаем $x < \frac{2}{3} l$, следовательно

$y_1(x) > y_2(x)$, между полкой и полосой образуется "щель".

Можно дать и другую оценку, допуская возникновение усилия, растягивающего полку и сжимающего лист.

Для консольной балки постоянного сечения, нагруженной силой (рис.2).

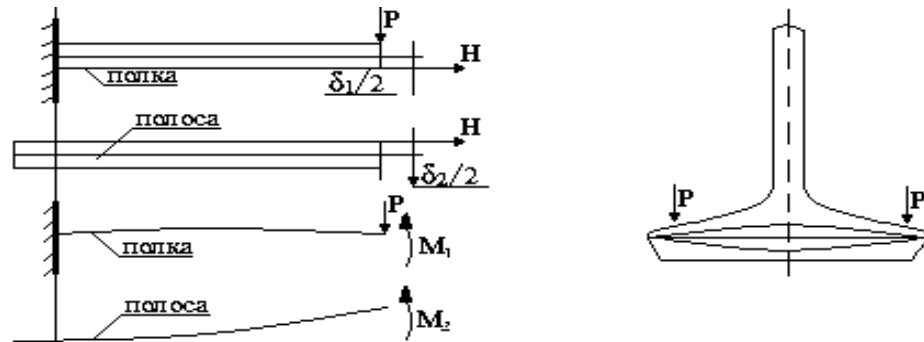


Рис.2 – Образование щели между балкой и полосой

$$y(x) = (P/EI)(lx_2/2 - x^2/6),$$

$$y(x) = (M/EI)x^2/2,$$

$$y'(x) = (P/EI)(lx - x^2/2),$$

$$y'(x) = (M/EI)x,$$

$$y(l) = Pl^3/3EI,$$

$$y(l) = Ml^2/EI^2.$$

$$y'(l) = Pl^2/2EI.$$

$$y'(l) = Ml/EI,$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \int_0^l [y'(x)]^2 dx = \frac{P^2 l^5}{15(EI)^2}$$

$$\Delta M = M^2 l^3 / 6(EI)^2.$$

При совместном воздействии P и M,

$$y'(x) = (P/EI)(lx - x^2/2) - (M/EI)x,$$

$$\Delta PM = \frac{1}{2} [(P/EI)(lx - x^2/2) - (M/EI)x]^2 dx = \frac{P^2 l^5}{15(EI)^2} - \frac{5MP l^4}{24(EI)^2} + \frac{M^2 l^3}{6(EI)^2}.$$

Используя вышеизложенное, при условии $\Delta_1 = \Delta_2$ вместо $y'_1 = y'_2$, и сделав преобразования получим

$$\psi = \frac{0,632}{\sqrt{1 + \delta_1^4 / \delta_2^4}}$$

Полагая, что вместо M_0 на полку и полосу действуют моменты

$M_1 = -H\delta_1/2$ и $M_2 = -H\delta_2/2$, названные силами H, и используя предыдущее выражения

$$\frac{P^2 l^5}{15(EI_1)^2} - \frac{5(H\delta_1/2)Pl^4}{24(EI_1)^2} + \frac{(H\delta_1/2)^2 l^3}{6(EI_1)^2} - \frac{(H\delta_2/2)^2 l^3}{6(EI_2)^2},$$

и подставив $\frac{H\delta_1}{2} = \psi Pl$, откуда

$$\psi = \frac{5}{8} \frac{1}{1 - \delta_1^4 / \delta_2^4} - \sqrt{\frac{25}{64} * \frac{1}{(1 - \delta_1^4 / \delta_2^4)^2} - \frac{2}{5} \frac{1}{\delta_1^4 / \delta_2^4}};$$

приняв место $\Delta p_M = \Delta p + \Delta M$

$$\psi = \frac{0,632}{\sqrt{1+\sigma_1^4/\sigma_2^4}}$$

При $b_2/b_1 = 0; 1; \infty$ значение ψ по выражениям совпадают, при других значениях имеем очень малое отличие.

Очень важно, что различие схемы внутренних усилий, допуская упрощение граничных условий, приводят к близким результатам, и очевидно, что применение толстых листов для усиления полки не имеет смысла.

Для проверки полученных зависимостей проведены эксперименты на натурных образцах, включающих сварной короткий двутавр с полками постоянной толщины, катаный короткий и длинный ($l=2000$ мм) двутавры с переменной толщиной полок. К полкам двутавров, электродуговой сваркой были приварены полосы толщиной $b_{\text{полосы}} = b_{\text{полки}}$ и $b_{\text{полосы}} = 0,5 b_{\text{полки}}$. Деформации измерялись проволочными тензодатчиками типа 2ПКБ – 5 – 100Б с базой 5 мм, наклеенными на полке у галтели. Нагружение полок производилось при помощи специальных скоб на нагрузочной машине ГРМ – 1.

Нагрузка принималась: для сварного двутавра - $2P = 1,96; 3,92; 5,88$ кН, для катаных двутавров – $2P = 2,45; 4,9; 7,5$ кН. Нагрузки прилагались на расстояниях от стенки $0,6...0,85$ ширины полки.

Выводы

Результаты эксперимента отличаются малым разбросом (7...15%), и убедительно подтверждают возможность, упрощенного подхода в оценках напряжений в полке двутавра. С этой точки зрения пригодна любая из расчетных схем, однако характер деформаций полки и полосы говорит, что между полкой и полосой должна образоваться "щель". Действительно, такая "щель" легко обнаруживается, особенно при больших нагрузках, как показано на рис.2.

Список використаних джерел:

1. Нечипоренко Л. Г. К расчету полки ездового двутавра / Л. Г. Нечипоренко, Н. К. Резниченко // Подъемно-транспортное оборудование : научн.-техн. сб. – 1983. – Вып. 14. – С. 13-15.
2. Науменко В.К. К исследованию напряженно-деформативного состояния монорейса / В.К. Науменко, Н.К. Резниченко. – Киев : Укр. НИИТИ, 1987. – Деп. 1232-Ук 87. – 34 с.
3. Резниченко Н. К. Работа двутавра при переменной нагрузке / Н. К. Резниченко // Подъемно-транспортное оборудование: научн.-техн. сб. – 1987. – Вып. 18. – С. 48-49.
4. Ковальский Б. С. Усиление полок ездовых двутавров приваркой полосы / Б. С. Ковальский, Н. К. Резниченко // Подъемно-транспортное оборудование : научн.-техн. сб. – 1990. – Вып. 21. – С. 21-23.

References

1. Nechiporenko, LG & Reznichenko, NK 1983, 'K raschetu polki ezdovogo dvutavra', *Podemno-transportnoe oborudovanie*, iss. 14, pp. 13-15.
2. Naumenko, VK & Reznichenko, NK 1987, *K issledovaniju naprjazhenno-defformativnogo sostojanija monorelsa*, Ukrainskij nauchno-issledovatel'skij institut nauchno-tehnicheskoy informacii, Kiev.
3. Reznichenko, NK 1987, 'Rabota dvutavra pri peremennoj nagruzke', *Podemno-transportnoe oborudovanie*, iss. 18, pp. 48-49.
4. Kovalskij, BS & Reznichenko, NK 1990, 'Usilenie polok ezdovyh dvutavrov privarkoj polosy', *Podemno-transportnoe oborudovanie*, iss. 21, pp. 21-23.

Стаття надійшла до редакції 7 грудня 2018 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-135-141

УДК 621.757

ТЕПЛОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ СБОРКЕ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ЛОКОМОТИВОВ С ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЕМ

©Малицький І. Ф., Смирнов І. П.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Малицький Ігор Федорович: ORCID: 0000-0003-0026-2791; malickiy1925@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри метало ріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Смирнов Ігор Петрович: ORCID: 0000-0002-5982-8123; smirnov_ip@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У машинобудуванні застосовується ряд малоефективних технологічних процесів пов'язаних зі складанням нерухомих з'єднань з гарантованим натягом. При складанні методом запресовування виникають пошкодження контактуючих поверхонь. При цьому натяг зменшується за рахунок того, що зминання і стирання поверхонь контакту при запресовуванні. Складання з нагріванням деталі, що охоплює, відбувається без пошкодження контактних поверхонь і дійсний натяг відповідає розрахунковому.

У процесі досліджень були визначені оптимальні величини температури і часу нагрівання охоплюючих деталей колісної пари локомотивів, які забезпечують величину складального зазору, достатнього для вільного складання. З огляду на специфіку номенклатури деталей колісних пар, були сформульовані основні технічні вимоги до промислових індукційно-нагрівальних установкам для нагріву цих деталей.

На підставі цих вимог були спроектовані, виготовлені і впроваджені у виробництво індукційно-нагрівальні установки для здійснення нагріву під складання елементів колісної пари локомотивів. Це дозволило підвищити надійність і міцність з'єднань в 2,5 рази, підвищити продуктивність праці, поліпшити культуру виробництва, зменшити зайнятість площ цеху. Економічний ефект тільки для одного локомотиворемонтного заводу склав 3,9 млн. гривень.

Ключові слова: колісна пара, формування колісних пар, посадка з натягом, індукційно-теплова збірка, складальний зазор, швидкість нагріву, час нагрівання.

Малицький І.Ф., Смирнов І.П. «Теплодинамические характеристики при сборке колесной пары локомотивов с термовоздействием».

В машиностроении применяется ряд малоэффективных технологических процессов связанных со сборкой неподвижных соединений с гарантированным натягом. При сборке методом запрессовки возникают повреждения контактирующих поверхностей. При этом натяг уменьшается за счет смятия и истирания поверхностей контакта при запрессовке. Сборка с нагревом охватываемой детали происходит без повреждения контактных поверхностей и действительный натяг соответствует расчетному.

В процессе исследований были определены оптимальные величины температуры и времени нагрева охватываемых деталей колесной пары локомотивов, при которых обеспечивалась величина сборочного зазора, достаточного для свободной сборки. Учитывая специ-

фику номенклатуры охватывающих деталей колесных пар, были сформулированы основные технические требования к промышленным индукционно-нагревательным установкам для нагрева этих деталей.

На основании этих требований были спроектированы, изготовлены и внедрены в производство индукционно-нагревательные установки для осуществления нагрева под сборку элементов колесной пары локомотивов. Это позволило повысить надежность и прочность соединений в 2,5 раза, повысить производительность труда, улучшить культуру производства, уменьшить занятость площадей цеха. Экономический эффект только для одного локомотиворемонтного завода составил 3,9 млн. гривен.

Ключевые слова: колесная пара, формирование колесных пар, посадка с натягом, индукционно-тепловая сборка, сборочный зазор, скорость нагрева, время нагрева.

Malickiy I., Smirnov I. «Thermodynamic characteristics when assembling the wheel pair of locomotives with thermal action».

In mechanical engineering, a number of inefficient technological processes are used associated with the assembly of motionless joints with guaranteed tension. When assembling pressing method, damage to the contacting surfaces occurs. In this case, the tension is reduced due to collapsing and erasing the contact surfaces during pressing.

The assembling with heating of the female part occurs without damage to the contact surfaces and the actual tension corresponds to the calculated one.

In the course of the research, the optimal values of temperature and heating time were determined for the parts of the wheel pair of locomotives, at which the size of the assembly clearance, sufficient for free assembly, was provided. Taking into account the specifics of the range of covering parts for wheel pair, the main technical requirements for industrial induction heating systems for heating these parts were formulated.

On the basis of these requirements, induction heating installations were designed, manufactured and introduced into for the implementation of warming for assembling elements of the wheel pair of locomotives. This made it possible to increase the reliability and durability of the joints by 2.5 times, to increase labor productivity, to improve the production culture, to reduce the occupancy of the workshop areas. The economic effect for only one locomotive repair plant amounted to 3.9 million UAN.

Keywords: wheel pair, the formation of wheel pairs, landing with tension, induction-thermal assembly, assembly gap, heating rate, heating time.

1. Постановка проблемы

В машиностроении и особенно в ремонтном производстве имеет место ряд малоэффективных технологических процессов связанных со сборкой неподвижных соединений с гарантированным натягом. Например, при сборке деталей таких соединений колесной пары локомотивов применяются мощные и громоздкие прессы [1]. А так как от прочности и надежности неподвижного соединения колесной пары локомотива и ее элементов зависит безопасность движения состава, то сборка методом запрессовки не дает полной гарантии качеству соединения.

2. Анализ последних исследований

При сборке методом запрессовки возникают задиры и другие повреждения контактирующих поверхностей, которые могут привести к взаимному смещению соединяемых эле-

ментов, что, в свою очередь, приводит к аварии. Контроль прочности соединения необъективно оценивается по натягу, который теряет свою величину, так как измеренный перед сборкой размер уменьшается за счет смятия и стирания поверхностей контакта при запрессовке. Сборка с нагревом охватывающей детали происходит без повреждения контактных поверхностей и действительный натяг соответствует расчетному. Вследствие этого прочность сопряжения при сборке с термовоздействием более чем в 2,5 раза выше, чем прочность соединения, полученного запрессовкой [2, 3].

Цель статьи - определить теплодинамические характеристики при сборке с термовоздействием колесной пары локомотивов и сформулировать основные технические требования к промышленным индукционно-нагревательным установкам для нагрева этих деталей.

3. Основной материал

В Украинской инженерно-педагогической академии был спроектирован и внедрен в производство ряд высокоэффективных установок для сборки и разборки отдельных элементов колесной пары с использованием индукционного нагрева токами промышленной частоты [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Индукционные нагревательные установки под сборку и разборку деталей типа «втулка» обеспечивают локальный нагрев охватывающих элементов колесной пары до температуры 250-300 °С, что обеспечивает увеличение диаметра охватывающей детали на величину, необходимую для свободной насадки детали на вал или свободного съема с вала. Номенклатура нагреваемых элементов колесной пары приведена в табл.1.

Таблица 1 – Номенклатура нагреваемых элементов колесной пары

№ п/п	Наименование детали	№ детали по чертежу	Масса детали, кг	Допустимая температура нагрева, С°
1	Втулка	ДП 47.31.12.00	8,5	200
2	Втулка	ДП 47.31.17.00	9,85	180
3	Кольцо лабиринтное	316.80.10.100	6,2	150
4	Кольцо	ДП36.01.05Р01/02	2,1	150
5	Шестерня ведущая	302.30.10.338	37,5	250
6	Шестерня ведомая	302.30.10.339	40,5	250
7	Коническая шестерня малая	Д 100.08.004-1	22	250
8	Корпус буксы	ДП 36.31.01.01	38	200
9	Корпус буксы	116.30.10.144	85	250
10	Корпус буксы с осевым упором	ДП 47.31.11	58	230

Исследование индукционного нагрева охватывающих деталей проводилось с предварительной подготовкой деталей, подлежащих сборке с гарантированным натягом. Для определения теплодинамических условий нагрева охватывающей детали они были оснащены термопарами для контроля температуры нагрева. Температура нагрева детали измерялась в характерных точках ТП1, ТП2 и ТП3 (рис. 1) посадочной поверхности системой потенциометр-термопара.

Кроме этого производился обмер геометрических размеров деталей по внутреннему диаметру охватывающей детали перед нагревом и после нагрева, а также по наружному диаметру охватываемой детали - оси колесной пары. Обмеры охватывающих деталей и оси проводились в двух сечениях А и В, отстоящих от торца детали на 10 мм и в двух взаимно перпендикулярных плоскостях I и II (рис. 2).

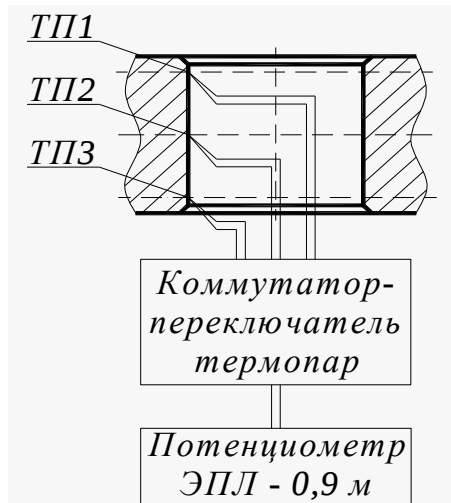


Рис. 1 - Схема замера температуры

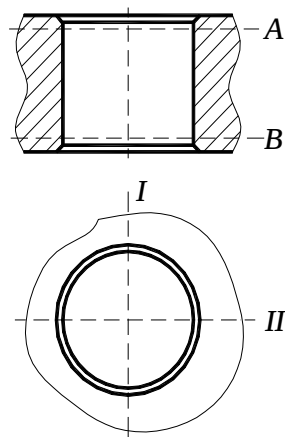


Рис. 2 - Схема замеров охватываемой детали

Данные измерений сводились в таблицу 2 (приведены для втулки ДП 47.31.12.00), после чего определялось увеличение внутреннего диаметра при различных температурах нагрева. В результате определялась оптимальная температура нагрева детали, которая обеспечивала требуемую величину сборочного зазора, необходимого для свободной сборки оси с охватываемой деталью. Электрические параметры индуктора и электросети также приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Данные измерений при нагреве втулки ДП 47.31.12.00

Время нагрева, мин	Температура в точках термопар, С°			Параметры сети					Параметры индуктора	
	ТП1	ТП2	ТП3	U, В	I, А	P, kW	P _{общ} , kW	cos φ	U, В	I, А
0	25	25	25	360	270	94	97	0.97	360	380
1	80	75	75							
2	120	115	120							
3	140	130	135							
4	170	160	165							
5	210	200	205							
6	240	230	235							
7	260	250	255							
8	290	270	280							

В процессе исследований были определены величины температуры и времени нагрева вышеуказанных охватываемых деталей, при которых обеспечивалась величина сборочного зазора, достаточного для свободной сборки (табл. 3). Требуемая для обеспечения сборочного зазора температура нагрева определялась по формуле:

$$t = \frac{\delta + \Delta}{d\alpha} \quad (1)$$

где δ - требуемый минимальный натяг в сопряжении, определялся по формуле (2), мм;
 Δ - гарантированный зазор для свободной сборки, по опытным данным принят $\Delta = 0,25$ мм;
 α - коэффициент линейного расширения нагреваемого материала, для стали $\alpha = 11,6 \times 10^{-6}$ град⁻¹; d - номинальный диаметр посадочной поверхности, мм.

Таблица 3 – Время и температура нагрева деталей, при которой обеспечивается сборочный зазор

№	Наименование детали	№ детали по чертежу	Ном. диаметр, мм	Натяг min, мкм	Натяг max, мкм	Время нагрева, мин	Температура, С°	Сборочный зазор, мкм
1	Втулка	ДП 47.31.12.00	40	24	52	4	165	302
2	Втулка	ДП 47.31.17.00	45	27	59	5	170	309
3	Кольцо лабиринтное	316.80.10.100	160	76	210	4	135	460
4	Кольцо	ДП36.01.05Р01/02	160	96	210	4	140	460
5	Шестерня ведущая	302.30.10.338	210	125	275	6	240	525
6	Шестерня ведомая	302.30.10.339	210	125	275	6	240	525
7	Коническая шестерня малая	Д 100.08.004-1	110	65	145	6	240	395
8	Корпус буксы	ДП 36.31.01.01	80	110	235	5	200	360
9	Корпус буксы	116.30.10.144	180	110	235	7	235	360
10	Корпус буксы с осевым упором	ДП 47.31.11	180	110	235	6	230	360

Требуемый минимальный натяг в сопряжении определялся по формуле в зависимости от требуемой прочности соединения:

$$\delta = \sqrt{\frac{R_{oc}^2 + \frac{2M_{кр}}{l} \cdot \frac{1}{d}}{\pi \cdot f \cdot E_1}} + \frac{C_2}{E_2} \cdot 10^6 + 5(R_{a1} + R_{a2}) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где R_{oc} – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть деталь относительно оси колесной пары, Н; $M_{кр}$ – крутящий (или тормозной) момент, стремящаяся повернуть деталь относительно оси колесной пары, Н мм; l – длина контакта сопрягаемых поверхностей, мм; f – коэффициент трения сопрягаемых поверхностей, принят $f = 0,1$; E_1, E_2 – модули упругости материала оси и охватывающей детали соответственно, для стали $E_1 = E_2 = 2,01 \cdot 10^{11}$ Па; R_{a1}, R_{a2} – шероховатость охватываемой и охватывающей поверхностей сопрягаемых деталей соответственно, мкм; C_1, C_2 – коэффициенты жесткости по формулам:

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} \cdot \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} \cdot \mu_2,$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона охватываемой и охватывающей детали соответственно, для стали $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$; d_1, d_2 – размеры диаметров (рис. 3) принимались из рабочих чертежей, мм.

По полученным данным определялось время нагрева для каждой отдельной детали в зависимости от требуемого сборочного зазора (табл. 3).

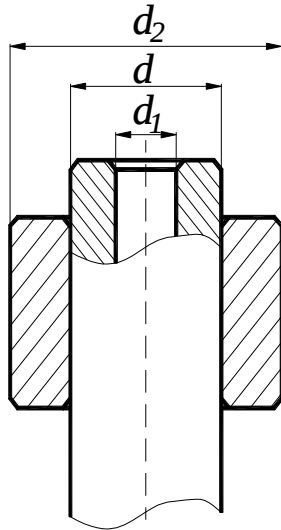


Рис. 3 – Схема соединения

Кроме того, по теории наибольших касательных напряжений производилась проверка на максимально допустимое удельное давление в соединении, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях соединяемых деталей. Максимальный натяг в соединении не должен превышать предельной величины, мм:

$$\delta_{\max} \leq \delta_{\text{пред}} = P_{\max} d \times \frac{\alpha C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}, \quad (3)$$

где $P_{\max}$ – максимально допустимое удельное давление в контакте, Па. В качестве $P_{\max}$ принимали меньшее из значений:

$$P_{\max 1} = 0,58 \times \sigma_{T1} \left(\frac{d_1}{d} - \frac{\alpha d_1}{C} \right) \frac{\sigma^2}{\sigma}; \quad P_{\max 2} = 0,58 \times \sigma_{T2} \left(\frac{d_1}{d_2} - \frac{\alpha d_1}{C} \right) \frac{\sigma^2}{\sigma},$$

где σ_{T1} , σ_{T2} – пределы текучести охватываемой и охватывающей детали соответственно, Па.

Учитывая специфику номенклатуры деталей колесных пар, подлежащих нагреву, были сформулированы основные технические требования к промышленным индукционно-нагревательным установкам для нагрева этих деталей: компактность; высокая производительность; небольшое энергопотребление за счет локального нагрева, контроль температуры нагреваемой детали по времени; применение индуктора С-образного типа.

Спроектированные, изготовленные и внедренные в производство индукционные нагревательные установки для нагрева охватывающих деталей для дальнейшего сопряжения с гарантированным натягом с осью колесной пары позволяют нагревать детали с размерами наружного диаметра до Ø650 мм, высотой до 280 мм. Температура нагрева обеспечивает расширение посадочного диаметра детали, необходимого для осуществления ее свободной сборки с зазором с охватываемой деталью. Индукционно нагревательная установка представляет собой С-образный индуктор, смонтированный в металлическом каркасе, имеющим поворотный стол (рис. 4). Индуктор состоит из одного неподвижного С-образного и двух подвижных магнитопроводов и индукционной катушки. Верхний подвижный магнитопровод связан с пневмоприводом для поднятия и опускания на нагреваемую деталь, расположенную на рабочем столе. Нижний вертикальный магнитопровод изготовлен регулируемым по высоте относительно плоскости рабочего стола. Индукционные катушки выполнены медным и теплостойким проводом марки ПСДК и размещаются на верхнем и нижнем магнитопроводах.

Выводы

В результате проведенных исследований по применению метода термовоздействия для сборки колесных пар были сформулированы основные технические требования, на основании которых были спроектированы, изготовлены и внедрены в производство индукционно-нагревательные установки для осуществления нагрева под сборку элементов колесной пары локомотивов. Это позволило повысить надежность и прочность соединений в 2,5 раза, а также повысить производительность труда, улучшить культуру производства, уменьшить занятость площадей цеха. Экономический эффект только для одного локомотиворемонтного завода составил 3,9 млн гривен.

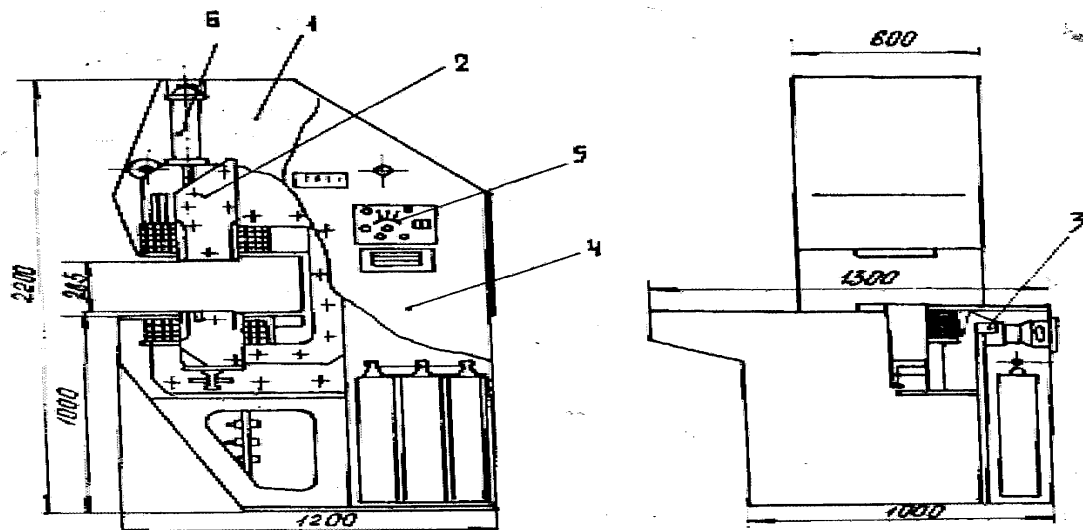


Рис. 4 - Индукционная установка ТПЧ для нагрева под сборку деталей локомотива: 1 - корпус, 2 - индуктор, 3 - механизм ввода термодатчика, 4 - шкаф с электроаппаратурой, 5 - панель управления, 6 - пневмопривод.

Список використаних джерел:

1. Амелина А. А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками / А. А. Амелина. – М. : Машиностроение, 1966. – 285 с.
2. Андреев Г. Я. Тепловая сборка в машиностроении / Г. Я. Андреев. – Киев : Техника, 1968. – 210 с.
3. Андреев Г.Я. Прочность тепловых соединений с антикоррозионной пленкой / Г. Я. Андреев, И. Ф. Малицкий // Техника. – 1968. – № 14. – С. 12.
4. Смирнов И. П. Развитие технологии ремонта подъемно-транспортного оборудования / И. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2009. – № 4. – С. 170-177.
5. Малицкий И. Ф. Индуктор с петлевой катушкой для одновременной сборки двух колес / И. Ф. Малицкий, М. Ю. Коваленко // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2008. – № 2. – С. 128-133.
6. Малицкий И. Ф. Зняття маточини трамвайного колеса з осі колісної пари термовпливом / І. Ф. Малицький, В. І. Єфремова // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2011. – № 7-8. – С. 160-166.
7. Смирнов И. П. Оптимальный размер диаметра соединений с натягом / И. П. Смирнов, И. Ф. Малицкий // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2016. – № 18. – С. 139-144.
8. Малицкий И. Ф. Межребордный размер при формировании колёсной пары термовоздействием / И. Ф. Малицкий, И. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2017. – № 20. – С. 130-134.
9. Малицкий И. Ф. Забезпечення якості буксового вузла при складанні колісної пари з термовпливом / І. Ф. Малицький, І. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УПА, 2018. – № 21. – С. 159-164.

References

1. Amelina, AA 1966, *Ustrojstvo i remont vagonnyh buks s rolikovymi podshipnikami*, Mashinostroenie, Moskva.
2. Andreev, GJa 1968, *Teplovaja sborka v mashinostroenii*, Tehnika, Kiev.
3. Andreev, GJa & Malickij, IF 1968, 'Prochnost teplovyh soedinenij s antikorrozionnoj plenкой', *Tehnika*, no. 14, pp. 12.
4. Smirnov, IP 2009, 'Razvitie tehnologii remonta podemno-transportnogo oborudovanija', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 4, pp. 170-177.
5. Malickij, IF & Kovalenko, MJu 2008, 'Induktor s petlevoj katushkoj dlja odnovremennoj sborki dvuh koles', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 2, pp. 128-133.
6. Malitskyi, IF & Yefremova, VI 2011, 'Zniattia matochyny tramvainoho kola z osi kolenoj pary termovplyvom', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 7-8, pp. 160-166.
7. Smirnov, IP & Malickij, IF 2016, 'Optimalnyj razmer diametra soedinenij s natjagom', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 18, pp. 139-144.
8. Malickij, IF & Smirnov, IP 2017, 'Mezhrebordnyj razmer pri formirovanii koljosnoj pary termovozdejstviem', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 20, pp. 130-134.
9. Malitskyi, IF & Smyrnov, IP 2018, 'Zabezpechennia yakosti buksovoho vuzlav pry skladanni kolisnoi pary z termovplyvom', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 21, pp. 159-164.

Стаття надійшла до редакції 26 листопада 2018

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-142-147

УДК 537.533.35

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА, ЩО ОПРОМІНЮЄТЬСЯ ПРИСКОРЕНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ

©Черняк Е. Н., Трищ Р. М., Моргунов В. В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Черняк Олена Миколаївна: ORCID: 0000-0001-6167-8809; olena-cherniak@ukr.net; аспірантка кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Трищ Роман Михайлович: ORCID: 0000-0003-3074-9736; trich_r@ukr.net; доктор технічних наук; завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Моргунов Володимир Вікторович: ORCID: 0000-0002-8681-1941; volodymyr.morgunov@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті наводиться приклад застосування та ефективність радіаційних технологій в різних галузях виробничої діяльності. Зазначено переваги радіаційних технологій такі як: збільшення продуктивності обробки, зменшення енергоспоживання, економія сировини і матеріалу, зменшення забруднення навколишнього середовища, відповідність екологічним нормам, низькі експлуатаційні витрати, високі економічні показники.

Запропоновано за допомогою прискорених електронів проводити біологічну очистку робочого одягу від мікроорганізмів. Визначено та обґрунтовано необхідність використання чисельного моделювання в радіаційних технологіях.

Отримано математичну залежність поглиненої дози рухомого об'єкта, яка дозволить розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

Ключові слова: прискорені електрони, поглинута доза, радіаційна обробка, чисельне моделювання, рухомий об'єкт.

Черняк Е. Н., Трищ Р. М., Моргунов В. В. «Методика расчета поглощенной дозы движимого облучаемого объекта ускоренными электронами»

В статье приводится пример применения и эффективность радиационных технологий в различных отраслях производственной деятельности. Отмечено преимущества радиационных технологий такие как: увеличение производительности обработки, уменьшение энергопотребления, экономия сырья и материала, уменьшение загрязнения окружающей среды, соответствие экологическим нормам, низкие эксплуатационные расходы, высокие экономические показатели.

Предложено с помощью ускоренных электронов проводить биологическую очистку рабочей одежды от микроорганизмов. Определены и обоснованы необходимость

использования численного моделирования в радиационных технологиях. Получена математическая зависимость поглощенной дозы подвижного объекта, которая позволит рассчитать технологические режимы процесса радиационной стерилизации биологически зараженного материала специальной одежды.

Ключевые слова: ускоренные электроны, поглощенная доза, радиационная обработка, численное моделирование, движущийся объект.

Cherniak E., Trishch R., Morgunov V. “Method of calculating the absorbed dose of a movable irradiated object by accelerated electrons”.

The article provides an example of the use and effectiveness of radiation technologies in various sectors of industrial activity. The advantages of radiation technologies such as: increased processing performance, reduced energy consumption, savings of raw materials and materials, reduced environmental pollution, compliance with environmental standards, low operating costs, high economic indicators. It was proposed to carry out biological cleaning of working clothes from microorganisms using accelerated electrons.

The necessity of using numerical simulation in radiation technologies is determined and substantiated. A mathematical dependence of the absorbed dose of a moving object has been obtained, which will make it possible to calculate the technological regimes of the process of radiation sterilization of biologically infected material of special clothing.

Key words: accelerated electrons, absorbed dose, radiation processing, numerical simulation, moving object.

1. Постановка проблеми

З розвитком промисловості, в останні роки спостерігається збільшення кількості промислових радіаційних установок, розширення асортименту оброблюваних іонізуючим випромінюванням виробів, розробка та впровадження нових способів і методів радіаційної обробки. Пучки електронів і гальмівне випромінювання широко використовуються в різних промислових радіаційно-технологічних процесах. До таких процесів відносяться стерилізація медичних препаратів та інструментарію, пастеризація і стерилізація харчових продуктів, радіаційна полімеризація і вулканізація, радіаційна обробка сільськогосподарської продукції, розробка нових матеріалів з унікальними властивостями, очищення стічних вод і топкових газів, митний контроль та ін. [1].

Радіаційні технології стерилізації та обробки, відрізняються високим ступенем ефективності, високою продуктивністю, точністю дозування випромінювання, можливістю опромінення запакованих продуктів, відсутністю високого нагріву продукту і як наслідок можливість стерилізації термолабільних об'єктів, а також низькими експлуатаційними витратами і відповідністю прийнятим екологічним нормам. Тому пропонується за допомогою прискорених електронів проводити біологічну очистку робочого одягу від мікроорганізмів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз робіт, які присвячені використанню радіаційних технологій, показав, що в порівнянні з традиційними термічними або хімічними технологіями, у радіаційних технологіях значні переваги, такі як збільшення продуктивності обробки, зменшення енергоспоживання, економія сировини і матеріалу, зменшення забруднення навколишнього середовища, відповідність екологічним нормам, прецизійний контроль процесу і продукції, що обробляється, отримання продукції вищої якості, низькі експлуатаційні витрати, високі економічні показники [2-5]. У той же час питання, пов'язані з радіаційною стерилізацією спеціального одягу, а особливо одягу який має утеплювачі недостатньо вивчені і розроблені.

Питання розвитку дозиметрії випромінювання постійно обговорюються на координаційних засіданнях Міжнародного Агентства з Атомної Енергії (IAEA) - Quality Control Methods and Procedures for Radiation Technology. Зокрема, на цих засіданнях неодноразово доповідалось, що подальший розвиток і успіх радіаційних технологій безпосередньо залежить від розвитку засобів моделювання процесів опромінення, обробки результатів дозиметричних вимірювань і комп'ютерного аналізу.

З питань методів і засобів чисельного моделювання процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, рішенням практичних завдань дозиметрії випромінювання в радіаційних технологіях займалися такі науковці як Акерман А. Ф., Иванов В. И., Кольчужкин А. М., Уваров В. Л., Berger M. J., Habbieib J.A., Seltzer S.M., Mehta K., Miller A., Mittendorfer J., Saylor M. C., Tabata T., Weiss D. E.

Метою статті є розроблення методики розрахунку поглинутої дози біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу з метою його радіаційної стерилізації.

3. Виклад основного матеріалу

Процес радіаційної стерилізації включає переміщення на конвеєрі ящиків з матеріалом робочого одягу через зону опромінення електронним прискорювачем із заданими параметрами. Відповідно до міжнародних стандартів [6] параметрами процесу стерилізації на прискорювачі є:

- енергія електронів;
- середній струм пучка електронів;
- ширина зони його сканування на поверхні об'єкта стерилізації;
- швидкість переміщення об'єкта стерилізації через зону опромінення (швидкість конвеєра);
- поглинена доза об'єкта стерилізації.

Як відомо, у ході радіаційної обробки поглинена доза контролюється за допомогою дозиметрів. Ця процедура витратна за часом та ресурсами, а в деяких випадках застосування дозиметрів неможливе. Такі ситуації зустрічаються, наприклад, при застосуванні променевої терапії, при очищенні мінеральних та стічних вод і димових газів та ін. У таких випадках для розрахунку поглиненої дози об'єктів, які проходять радіаційну обробку, можуть застосовуватися чисельні методи моделювання. Чисельне моделювання в радіаційних технологіях сьогодні є одним з основних інструментів для:

- розрахунку просторових розподілів дози випромінювання в опромінюваних об'єктах при плануванні процесу опромінення;

- пошуку оптимальних режимів роботи і параметрів опромінюваних установок;
- оцінювання безпеки режимів роботи опромінюваних установок;
- вибір методів контролю процесу опромінення;
- розробки нових методів обробки різних виробів і матеріалів.

Тому, успіх застосування прискорених електронів в радіаційних технологіях в значній мірі залежить від розробки обчислювальних методів і застосування комп'ютерних технологій для моделювання процесів опромінення обробки різних виробів і матеріалів.

В якості комп'ютерних технологій, що реалізують моделювання проходження іонізуючого випромінювання був обраний програмний комплекс GEANT4 [7]. Обґрунтування вибору даного програмного комплексу розглянуто в [8], де було проведено порівняння з іншими програмними комплексами, що дозволяють моделювати процес проходження іонізуючого випромінювання через матеріал методом Монте-Карло.

Для ефективного застосування обчислювальних методів використовують знання фізики процесу проходження прискорених електронів через речовину. Тому, для розрахунку поглиненої дози D_e речовиною при проходженні прискорених електронів використовується наступна формула:

$$D_e = 1.6^{-10} \cdot \Phi \cdot \frac{S_{col}}{\rho}, \quad (1)$$

де Φ – флюєнс електронів (число частинок, які перетинають поверхню одиничної площі) $\Phi = N/S$, см⁻²;

$\frac{S_{col}}{\rho}$ гальмівна здатність речовини, MeV·см²/г.

Проведемо розрахунок ослаблення пучка прискорених електронів при проходженні через повітряний прошарок між джерелом електронів (прискорювачем) і об'єктом, що опромінюється. Нехай прискорювач електронів випромінює монохроматичне пучок прискорених електронів. Число взаємодій (розсіяння і поглинання) в нескінченно тонкому шарі речовини поглиначи dx пропорційне концентрації атомів в речовині поглиначи n , інтенсивності падаючого пучка N :

$$-dN = \mu' N dx, \quad (2)$$

де μ' — лінійний коефіцієнт ослаблення, см⁻¹.

Після інтегрування виразу (2) отримуємо закон ослаблення прискорених електронів в речовині поглиначи (повітря):

$$N = N_0 e^{-\mu' x}, \quad (3)$$

де x – товщина поглиначи, см; N_0 - початкова інтенсивності падаючого пучка.

Лінійний коефіцієнт ослаблення прискорених електронів в речовині поглиначи μ' залежить від максимальної енергії випромінювання E_{max} і властивостей речовини поглиначи. В першому наближенні μ' залежить від кількості електронів n_e в одиниці об'єму речовини - по-

глинача. Кількість електронів n_e , легко визначити за допомогою параметрів Z і A та кількості Авогадро N_a і щільності речовини ρ , використовуючи співвідношення:

$$n_e = N_a \rho \frac{Z}{A} \quad (4)$$

Вважаючи лінійний коефіцієнт ослаблення μ' пропорційним числу електронів n_e .

$$\mu' = K \cdot n_e, \quad (5)$$

де K - коефіцієнт пропорційності, отримуємо співвідношення:

$$\mu' = K N_a \rho \frac{Z}{A}. \quad (6)$$

Оскільки відношення Z/A для різних речовин - поглиначів змінюються в досить вузьких межах (0,5-0,4), практичніше користуватися замість лінійного коефіцієнта ослаблення μ' масовим коефіцієнтом ослаблення: $\mu = \mu'/\rho$ (см²/г), який може бути знайдений в [9]. Таким чином ми можемо знайти μ' для даної речовини з табличних даних.

Так як опромінення матеріалу робочого одягу в наших умовах проводиться на конвеєрі, то нам треба врахувати швидкість конвеєра, тобто необхідно враховувати час опромінення. Розглянемо зміни, які відбуваються за проміжок часу t . Так як, за визначенням флюєнс дорівнює числу частинок, які перетинають поверхню площею S :

$$\Phi = \frac{N}{S}, \quad (7)$$

то за час t конвеєр пройде шлях, що дорівнює добутку швидкості конвеєра на час t , а площа S буде дорівнює добутку пройденого шляху на довжину обробленої ділянки об'єкта (довжина ящика, наповненого матеріалом робочого одягу) l :

$$S = v \cdot t \cdot l \quad (8)$$

І кінцева формула поглиненої дози рухомого об'єкта, що опромінюється приймає наступний вигляд:

$$D_e = 1.6 \cdot 10^{-10} N_0 \frac{e^{-\mu' x}}{v \cdot t \cdot l} \quad (9)$$

Застосовуючи формулу визначення поглиненої дози рухомого об'єкта, що опромінюється (9) можна розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

Висновки

Запропоновано застосовувати прискорені електрони для радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

Отримана математична залежність поглиненої дози рухомого об'єкта, яка дозволить розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

Список использованных источников:

1. Алимов А. С. Практическое применение электронных ускорителей / А. С. Алимов. – Москва : НИИЯФ МГУ, 2011. – 41 с. – (Препринт / НИИЯФ МГУ ; № 2011-13/877)
2. Использование ускорителей в геологии, медицине, производстве изотопов и атомная энергетика / Н. П. Дикий [и др.] // Проблемы атомной науки и техники. – 2001. – №1 (37). – С. 26-35.
3. Scharf W. Particles accelerators – applications in technology and research / W. Scharf. – New York : Research Studies Press Ltd, 1989. – 663 p.
4. Забаев В. Н. Применение ускорителей в науке и промышленности / В. Н. Забаев. – Томск : ТПУ, 2008. – 195 с.
5. Zimek Z. EB Industrial Facility for Radiation Sterilization of Medical Devices / Z. Zimek, L. Walis, A. G. Chmielewski // Radiation Physics and Chemistry. – 1993. – Vol. 42. – P. 571-572.
6. ISO 11137-1: 2006: Sterilization of health care products Radiation Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices / ISO / TC 198. – Arlington : American National Standards Institute. – 23 с.
7. GEANT4 developments and applications / J. Allison [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2006. – № 53 (1). – P. 270-278.
8. Моргунов В. В. Численное моделирование определения радиационно-защитных показателей материалов для создания рабочей одежды / В. В. Моргунов, Е. Н. Черняк, Н. В. Диденко // Комунальне господарство міст. – 2015. – № 120 (1). – С. 42–49.
9. Berger M. J. Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions / M. J. Berger, J. Coursey, M. Zucker, J. Chang // NIST Physics Laboratory. – 1998.

References

1. Alimov, A 2011, *Prakticheskoe primeneniye jelektronnyh uskoritelej*, Moskva.
2. Dikij, N, Dovbnaya, A, Skakun, N & Uvarov, V 2001, 'Ispolzovanie uskoritelej v geologii, medicine, proizvodstve izotopov i atomnaya jenergetika', *Problemy atomnoj nauki i tehniki*, no. 1 (37), pp. 26-35.
3. Scharf, W 1989, *Particles accelerators – applications in technology and research*, Research Studies Press Ltd., New York.
4. Zabaev, V 2008, *Primeneniye uskoritelej v nauke i promyshlennosti*, Tomskij politehnicheskij univesitet, Tomsk.
5. Zimek, Z, Walis, L & Chmielewski, A 1993, 'EB Industrial Facility for Radiation Sterilization of Medical Devices', *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 42, pp. 571-572.
6. American National Standards Institute 2006, *Sterilization of health care products Radiation Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices*, ISO 11137-1: 2006, American National Standards Institute, Arlington.
7. Allison, J, Amako, K, Apostolakis, J, Araujo, H, Dubois, P, Asai, M, Barrand, G, Capra, R, Chauvie, S, Chytracsek, R et al, 2006, 'GEANT4 developments and applications', *IEEE Transactions on Nuclear Science*, no. 53 (1), pp. 270-278.
8. Morgunov, V, Cherniak, E & Didenko, N 2015, 'Chislennoe modelirovanie opredeleniya radiacionno-zashhitnyh pokazatelej materialov dlja sozdaniya rabochej odezhdy', *Komunalne hospodarstvo mist*, no. 120 (1), pp. 42-49.
9. Berger, M, Coursey, J, Zucker, M & Chang, J 1998, *Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions*, NIST Physics Laborator.

Стаття надійшла до редакції 27 листопада 2018 р.

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У зв'язку зі зміною редакційної політики та популяризацією за кордоном збірника наукових праць УПА «Машинобудування» (далі – Збірник) через світові бібліографічні, наукометричні бази, міжнародні каталоги повідомляємо наступне.

Науковий фаховий Збірник приймає до публікації наукові праці з питань технології машинобудування, піднімально-транспортних машин, верстатів та інструментів і динаміки та міцності машин.

Збірник зареєстровано у Міжнародному центрі періодичних видань, йому присвоєно Міжнародний стандартний номер серіального видання ISSN (International Standard Serials Number) 2079-1747 (print). Збірник індексується в міжнародних каталогах та наукометричних базах даних: PИИЦ, Index Copernicus, Google Scholar, ROAR (Registry of Open Access Repositories), OpenDOAR (The Directory of Open Access Repositories).

Публікаційна етика та правила оформлення наукових публікацій

Редакційна колегія Збірника орієнтується в роботі на норми та принципи міжнародної організації Committee on Publication Ethics (COPE), її політика базована на рекомендаціях Budapest Open Access Initiative (BOAI).

Опубліковані в Збірнику наукових праць УПА статті мають бути результатом наукових досліджень авторів, внеском у розвиток науки і забезпечувати спадкоємність наукових поглядів. З урахуванням цього редакція встановлює стандарти етичної поведінки для всіх сторін, що беруть участь в процесі публікації.

Обов'язки авторів

1. Стандарт авторства

Авторство має бути обмежене лише тими, хто вніс значний внесок в одержання результатів дослідження (розробка концепції, наукової ідеї та інш.). Автор, який представляє редакції рукопис, повинен гарантувати, що ним вказано всіх співавторів, що вони бачили і схвалили остаточний варіант рукопису і згодні з її поданням до редакції для публікації.

Статті, що подаються аспірантами, здобувачами, повинні мати рекомендацію наукового керівника, якщо він не є співавтором статті.

2. Стандарт однократності (неприпустимість паралельних публікацій).

Автор не повинен подавати до редакції рукопис раніше опублікованої статті. Він не повинен також подавати рукопис однієї і тієї ж за змістом статті в редакції декількох журналів одночасно.

Подача рукопису одночасно в кілька журналів є неетичною і неприйнятною.

3. Стандарт доступу до вихідних даних, дослідження та їх зберігання.

Автор зобов'язаний подати вихідні матеріали (дані) дослідження на вимогу редакції і повинен бути готовий надати публічний доступ до них. Автор повинен зберігати ці дані протягом певного часу після публікації.

4. Стандарт оригінальності і неприпустимість плагіату

Автор повинен представити в редакцію абсолютно оригінальну статтю. Якщо він використовував роботи або включає в свою статтю фрагменти з робіт (цитати) інших осіб, то таке використання має бути належним чином оформлене (лапки, виноска на джерело цитування, вказівка оригінального джерела в бібліографічному списку до статті).

Плагіат в будь-якій формі є неетичною і неприйнятною поведінкою автора.

5. Стандарт підтвердження джерел

Автор повинен в бібліографічному списку правильно вказати наукові та інші джерела, які він використовував у ході дослідження та які мали істотний вплив на результати дослідження.

Джерела, на які є виноска в тексті рукопису статті, повинні бути вказані в обов'язковому порядку. Інформація, отримана з неофіційних (приватних) джерел (розмова, листування, обговорення з третіми особами та ін.), не повинна використовуватися.

6. Стандарт виправлення помилок в опублікованих роботах

Якщо автор виявить суттєву помилку або неточність у вже опублікованій статті, то він зобов'язаний негайно повідомити про це редакцію і сприяти їй у виправленні помилки.

Якщо редакція дізнається про помилку від третіх осіб, то автор зобов'язаний негайно усунути помилку або представити докази її відсутності.

Загальні правила оформлення наукових публікацій

1. До друку приймаються наукові статті, що мають наукову і практичну цінність. Редакція приймає статті, повністю підготовлені до друку в збірнику наукових праць. Статті, оформлення яких не відповідає вказаним вимогам, не приймаються до друку.

2. Рішення щодо публікації (позитивне чи негативне) повідомляється автору. Стаття може бути повернена для доопрацювання. Рукописи авторам не повертаються.

3. Статті, відіслані авторам на доопрацювання, повинні бути повернені до редакції не пізніше, ніж через 10 днів після її одержання.

4. До розгляду приймаються наукові статті обсягом не менше 12-15 тис. знаків (включаючи таблиці, графіки, рисунки), формат паперу – А4, орієнтація – книжкова, всі поля – 2 см, міжрядковий інтервал – 1,5, кегль шрифту – 14, гарнітура – Times New Roman, абзац – 1,25 см.

5. Формули, рисунки, таблиці вставляються по тексту одразу після посилання на них. Ілюстрації повинні бути чіткими, формули – написані загально прийнятою символікою. Розмір шрифту в ілюстраційному матеріалі не менше 10 пт.

6. Статті подаються в друкованому (2 прим.) та в електронному варіантах у вигляді файлів (текст форматами DOC, RTF, графіки, рисунки – JPEG, TIFF). Якщо текст статті разом з ілюстраціями виконано у вигляді одного файлу, то необхідно додатково подати файл із ілюстраціями (одна ілюстрація – один файл).

7. На електронну адресу редакції подається комплект файлів, до якого має бути додано опис, де зазначаються:

- назва текстового редактора,
- імена файлів,
- назва збірника
- назва статті,
- розділ науки,
- прізвище, ім'я та по батькові авторів.

8. До редакції приймаються документи Microsoft Word версій до 2003 року (Word 11, Microsoft Office 2003). Документи Word 2007, Word 2010 **в форматі *.docx не приймаються.**

9. Редакція залишає за собою право вносити поправки до статей, не змінюючи основного змісту. Відповідальність за цитування та достовірність інформації несуть автори статей.

10. Мова публікацій: українська, російська, англійська.

11. Слід чітко розмежовувати тире (–) та дефіс (-). Необхідно використовувати однотипні лапки («...» – для українського та російського тексту статті та “...” – для англійського). Не допускається ставити абзацний відступ пробілами та клавішею Tab. Рядки тексту в межах абзацу не повинні розділятися клавішею Enter.

12. Не допускається використання переносів. Між ініціалами, ініціалами та прізвищем ставиться нерозривний пробіл. Нумерація сторінок не проставляється.

13. Збірник з опублікованою статтею надсилається авторові поштою або видається у редакції.

Структура наукової статті (відповідно вимог ДСТУ 7152:2010 «Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках»)

Матеріали, подані до збірника, мають відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», Постанови Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» та повинні мати такі необхідні відомості:

1. **Індекс УДК** (вирівнювання по лівому краю). Визначити код УДК ви можете на сайті бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/>

2. **Назва статті** (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний, великі літери).

3. **Прізвище та ініціали авторів**, співавторів (шрифт напівжирний)

4. **Анотація** (авторське резюме) без слова «Анотація» подається трьома мовами – українською, російською, англійською. Анотація містить прізвища та ініціали авторів (напівжирний курсив), назву статті у лапках, текст анотації. Обсяг анотації повинен бути не менше 1000 знаків.

5. **Ключові слова** (напівжирний курсив) – 5-6 слів через крапку з комою трьома мовами – українською, російською, англійською.

6. **Текст наукової статті.**

7. **Список використаних джерел** українською або російською мовами відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 (дивись сайт бібліотеки <http://library.uipa.edu.ua/vikladacham-i-kuratoram.html>), англійською мовою відповідно до міжнародних стандартів (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>). В оригінальних роботах цитують не більш 15 праць, а в оглядах – до 50. Список повинний містити публікації за останні 10 років, більш ранні допускаються лише в особливих випадках.

8. **References** – список використаних джерел латинськими літерами відповідно до стандарту Harvard (Постанова Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. №55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею»).

На сайті <http://www.slovyk.ua/services/translit.php> можна безкоштовно скористатися сервісом транслітерації україномовного тексту в латиницю.

На сайті <http://www.translit.net> є сервіс для транслітерації російськомовного тексту (стандарт BGN).

9. Стаття повинна супроводжуватися **авторською довідкою** (для кожного автора) трьома мовами – українською, російською, англійською.

10. Авторська довідка містить наступні дані:

- назва статті;
- прізвище, повне ім'я та по батькові;
- рік народження;
- вчений ступінь, вчене звання;
- місце роботи (англійською мовою – повна офіційно-прийнята назва установи);
- посада;
- ідентифікатор ORCID (дивись сайт бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/naukovtsyam/item/768-reiestratsiia-vchenykh-u-mizhnarodnomu-reiestri-orcid.html>);
- адреса для листування, телефон, e-mail;
- адреса для відправки авторського екземпляру.

У кінці довідки треба зазначити «Поданий матеріал раніше не публікувався і до інших видавництв не надсилався». «Не заперечую проти виставлення повного тексту статті на сайт Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, в реферативну базу даних «Україніка наукова» та повнотекстову базу даних «Наукова періодика України», сайт Наукової бібліотеки УПА і на сайт Наукової електронної бібліотеки eLIBRARY.RU.

Рекомендації до написання анотацій (авторських резюме) до наукових статей

До публікації приймаються рукописи з максимально конкретизованими анотаціями. Композиційно анотація може бути збудована за принципами IMRAD (Introduction, Methods (Methodology), Results and Discussion). Загальновизнаною світовою практикою є використання анотацій (англійською мовою – resume чи abstract) не лише як структурного компонента власне наукової статті, але й як окремої наукової форми, що має на меті ознайомити у найзагальніших рисах із суттю та змістом дослідження.

Актуальність – актуальність дослідження. Мета – мета і завдання дослідження. Не слід повторювати назву статті. Якщо з назви статті мета та завдання роботи є зрозумілими, то це речення слід пропустити. Наприклад, можна вказати – Розглянуті напрямки... Не використовувати такі слова як «В цій статті, в статті». Компетентні дослідники чудово розуміють, що мова йде саме про Вашу статтю.

Методи (методологія дослідження) – відомості про те, коли, де, як проводилося дослідження; яка інформація, методи використовувалися; хто був включений в групу піддослідних. **Метод або методологію** проведення роботи доцільно описувати в тому випадку, якщо вони відрізняються новизною або їх розробка становить самостійну частину роботи. У рефератах документів, що описують експериментальні роботи, вказують джерела даних і характер їхньої обробки.

Результати – основні висновки (конкретика), результати дослідження. Наприклад – Встановлено..., З'ясовано..., Показано... та ін. **Результати** роботи описують гранично точно й інформативно. Наводять основні теоретичні та експериментальні результати, фактичні дані, виявлені зв'язки і закономірності. При цьому перевага надається новим результатам і даним довгострокового значення, важливим відкриттям, висновкам, які спростовують наявні теорії, а також даними, що, на думку автора, мають практичне значення.

Висновки можуть містити рекомендації, оцінки, пропозиції, гіпотези, описані у статті. Не рекомендується вказувати, що Ваш підхід або методика є кращими, ніж в інших авторів. Це є зрозумілим із самого статусу статті як наукової.

Перспективи – інформація про те, як отриманий результат співвідноситься з висновками інших учених, які перспективи дослідження, напрями подальшої роботи, складності.

При підготовці анотації слід виходити з того, що Ви пишите для компетентних дослідників і широкого кола потенційних англomовних користувачів. Тому можете вводити до анотації спеціальні терміни. Слід чітко викладати свою позицію. Від стилю її викладення залежить кількість звертань і, що є особливо важливим і актуальним сьогодні, кількість цитувань Вашої публікації. Анотація не повинна містити загальних слів.

Авторське резюме повинно викладати суттєві факти роботи, і не повинно перебільшувати або містити матеріал, який відсутній в основній частині публікації.

Відомості, що містяться в заголовку статті, не повинні повторюватися в тексті авторського резюме. Скорочення та умовні позначення не допускаються.

В авторському резюме не робляться посилання на номер публікації в списку літератури до статті.

Слід уникати зайвих вступних фраз (наприклад, «автор статті розглядає»). Історичні довідки, якщо вони не становлять основний зміст документа, опис раніше опублікованих робіт та загальновідомі положення в рефераті не наводять.

У тексті анотації слід вживати синтаксичні конструкції, властиві мові наукових і технічних документів, уникати складних граматичних конструкцій (не застосовуваних у науковій англійській мові).

Обсяг тексту визначається змістом публікації (обсягом відомостей, їх науковою цінністю та / або практичним значенням), але **не повинний бути менше 1000 знаків**.

Приклад авторського резюме українською мовою:

Значна частина планів по впровадженню змін, що містять в своїй основі нововведення, або не доходить до практичної реалізації, або в дійсності приносить набагато менше користі, ніж планувалося..... У статті пропонується механізм ..., заснований на аналізі ... Дослідження спирається на звід правил і процедур, що містять серію методів, використання яких дозволяє ... До таких методів відносяться:Результатом розробленої автором методики ... є пропозиція, яка в своїй концептуальній основі орієнтується на ...вишукування шляхів та прискорить реалізацію....., що в кінцевому результаті призведе до....

Рекомендації до написання тексту наукової статті

Відповідно до Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», текст статті має бути із зазначенням наступних елементів:

- **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;

- **аналіз останніх досліджень** і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
- **формулювання цілей статті** (постановка завдання);
- виклад **основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- **висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Особливості стилю наукової статті

Часто автори, які декларують звертання до наукової проблематики, використовують при цьому публіцистичний стиль викладу. Змішання стилів не є виправданим, оскільки створення якісного інтелектуального продукту не може асоціюватися із публіцистичністю у будь-якій її формі. Публіцистика і наука – це дві повноцінні, важливі для суспільного розвитку, але зовсім відмінні сфери інтелектуального самовираження. Отже, починаючи зі стадії осмислення прийомів збору інформації та закінчуючи формами викладу тих концепцій та ідей, до яких дійшов автор у результаті дослідження, слід чітко та однозначно орієнтуватися на загальнови-знані наукові стандарти рівня аргументованості та стилю викладу матеріалу.

При цьому треба пам'ятати, щоб у статті не було бездоказових тез та концепцій; усі ідеї знаходилися у закономірному та обґрунтованому взаємозв'язку; автор прагнув до максимальної об'єктивності та пошуку наукової істини, вільної від тиску ідеології та емоцій.

Рекомендації до складання списку використаних джерел

Після статті подається 2 списки:

Список використаних джерел (звичайний список літератури) та **References** (список для міжнародних БД, де дані українською/російською мовою описуються за допомогою транслітерації (<http://www.slovnyk.ua/services/translit.php>), а джерела англійською дублюються зі списку «Список використаних джерел»). Необхідно в опис документу в Списку та References вносити всіх авторів, не скорочуючи перелік до трьох, як це рекомендовано чинним у нас державним стандартом.

Правила оформлення списку літератури *References*, транслітерованого у романському алфавіті (латиниця)

Правильний опис використовуваних джерел у списках літератури є запорукою того, що цитована публікація буде врахована під час **оцінювання наукової діяльності її авторів**, отже, (по ланцюжку) — діяльності організації, регіону, країни.

За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність, ефективність діяльності його редакційної колегії і т. д. З цього виходить, що найбільш значущими складовими в бібліографічних посиланнях є **прізвища авторів і назви журналів**. Причому для того, щоб всі автори публікації були враховані в системі *Scopus*, **необхідно в опис статті вносити прізвища всіх авторів**, не скорочуючи їх до трьох, чотирьох та інше.

Для оформлення списку літератури *References* необхідно користуватись стандартом Harvard (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>).

Приклад опису статті з журналу:

Fritzkowski, P & Kaminski, H 2009, 'Dynamics of a rope modeled as a discrete system with extensible members', *Computational Mechanics*, no. 44(4), pp. 473-480. doi:10.1007/s00466-009-0387-2.

Приклад опису книги:

Loveikin, V, Chovniuk, Yu, Dikteruk, M & Pastushenko, S 2004, *Modeliuvannia dynamiky mekhanizmiv vantazhopidiomnykh mashyn*, RVV MDAU, Mykolaiv.

Збірник наукових праць «Машинобудування», наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2016 р. № 820 внесено до переліку наукових фахових видань України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

УДК 621 – 622

Машинобудування. Збірник наукових праць. Випуск 22. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2018. – 153 с.

У збірнику подано результати наукових досліджень в галузі машинобудування. Розглянуто важливі проблеми міцності, стійкості, роботоздатності, динаміки вантажопідйомних, транспортуючих машин та верстатів, а також питання технології машинобудування.

Для викладачів, науковців, аспірантів, фахівців в галузі машинобудування.

SCIENTIFIC EDITION

UDC 621 – 622

Engineering. Collection of Scientific Papers. Issue 22. – Kharkiv, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (UEPA), 2018. – 153 p.

There were considered the important problems of strength, steadiness, capacity for work, dynamics of loading transporting, technological, machines and imporers, also a question of machine-building technologic.

For instructors, research workers, post graduates, experts in the field of machine-building.

Підписано до друку 26.12.2018, Формат 70×100 ¹/₁₆. Умов. друк. арк. – 14,5.
Гарнітура *Times New Roman*. Друк офсетний. Наклад 50 прим. Ціна договірна.

Свідоцтво серія ДК №6146 від 17.04.2018

ДНЗ «Харківський регіональний центр професійної освіти
поліграфічних медіатехнологій та машинобудування»