

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Збірник наукових праць

Випуск 13
(грудень, 2018)

Луцьк 2018

УДК 006, 537, 538, 546, 620, 621, 681

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 4 від 27 листопада 2018 р.

Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію:
Серія КВ №18466-7266Р від 15.12.2011р.

ISSN: 2313-5352

Засновник Луцький національний технічний університет

Друкується в авторській редакції

«Перспективні технології та прилади» // м. Луцьк грудень 2018р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018.-189 с.

В збірник включені статті, що відображають наукові та практичні результати сучасних розробок технології машино- та приладобудування, особливості експлуатації та повірки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та медичних приладів і систем. Представленні сучасні досягнення та перспективні напрямки розвитку технології виготовлення та складання машин і приладів в різних галузях народного господарства.

Адреса організаційного комітету:

Україна, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, Луцький національний технічний університет, технологічний факультет, кафедра приладобудування.

Телефон: (0332) 26-49-43

Факс: (0332) 74-48-40

e-mail: confkptm@gmail.com

© Луцький національний технічний університет, 2018 р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Савчук Петро Петрович, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Марчук Віктор Іванович, д.т.н., професор, Луцький НТУ (відповідальний редактор)
Заблоцький Валентин Юрійович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ
Шваб'юк Василь Іванович, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Шабайкович Віктор Антонович, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Григор'єва Наталія Сергіївна, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Ярошевич Микола Павлович, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Андрущак Ігор Євгенович д.т.н., професор, Луцький НТУ
Пастернак Ярослав Михайлович, д.ф.-м.н., доцент, Луцький НТУ
Скоропад Пилип Ізидорович, д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка»
Грицай Ігор Євгенович, д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка»
Захаров Ігор Петрович, д.т.н., професор, провідний науковий співробітник ННЦ «Інститут метрології»
Ларшин Василь Петрович, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет
Федосов Сергій Анатолійович, д.ф.-м.н., професор СНУ імені Лесі Українки
Гулай Любомир Дмитрович, д.х.н., професор СНУ імені Лесі Українки
Гераймчук Михайло Дем'янович, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Антонюк Віктор Степанович, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Тимчик Григорій Семенович, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Куц Юрій Васильович, д.т.н. професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Лебедев Володимир Георгійович, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет
Тонконогий Володимир Михайлович, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет
Коломієць Леонід Володимирович, д.т.н., професор, Одеська державна академія технічного регулювання та якості
Ткачук Роман Андрійович, д.т.н., професор, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Яворський Богдан Іванович, д.т.н., професор, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Ляшук Олег Леонтійович, д.т.н., доцент, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Гевко Богдан Матвійович, д.т.н., професор, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Пилипець Михайло Ількович, д.т.н., професор, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Васильків Василь Васильович, д.т.н., доцент, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Луців Ігор Володимирович, д.т.н., професор, Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя
Пермяков Олександр Анатолійович, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Харківський політехнічний інститут»
Новіков Федір Васильович, д.т.н., професор, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
Джугурян Тигран Герасимович, д.т.н., професор, Щецинська морська академія (Польща)
Станіслав Іван, д.т.н., професор, декан, Щецинська морська академія (Польща)
Мірослав Пайор, д.т.н. професор, Західнопоморський технічний університет в м. Щецинь (Польща)
Збігнєв Матушак, д.т.н., професор, Щецинська морська академія (Польща)
Даріуш Тарнаповіч, д.т.н., професор, Щецинська морська академія (Польща)
Марек Опеляк, д.т.н., ректор, Любленська політехніка (Польща)
Антоній Свіць, д.т.н., професор, Любленська політехніка (Польща)
Ізабела Котовська д.т.н. професор, Щецинська морська академія (Польща)
Гайдук Мікулас д.т.н., професор , Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Гулай Ольга Іванівна, д.п.н., доцент, Луцький НТУ
Лапченко Юрій Сергійович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ
Денисюк Віктор Юрійович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ
Симонюк Володимир Павлович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ
Пташенчук Віталій Віталійович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ
Яцинський Леонід Васильович, к.ф.-м.н., доцент, Луцький НТУ
Луньов Сергій Валентинович, к.ф.-м.н., доцент, Луцький НТУ
Марчук Ірина Вікторівна, к.т.н., доцент, Луцький НТУ (відповідальний секретар)

ЗМІСТ	4
Аверьянов В. С., к.т.н., Шматко Д. З., к.т.н., Сасов О. О., к.т.н. Разработка методики для исследования выхлопных газов автомобилей	6
Барибін О.І., к.т.н. Особливості вимірювання ефективності аерації в чистій воді	12
Батыгин Ю.В., д.т.н., Шиндерук С.А, к.т.н., Сериков Г.С., к.т.н., Еремина Е.Ф, к.т.н. Резонансный усилитель электрической мощности. Экспериментальные исследования	18
Баховський П.Ф., к.т.н., Євсюк М.М. Окремі аспекти розвитку мереж мобільних телекомунікацій	25
Верба І. І., к.т.н., Даниленко О. В., к.т.н. Використання сучасних матеріалів як засіб підвищення працездатності технічних систем	33
Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Шабайкович В.А., д.т.н., проф., Марчук І.В., к.т.н., доц. Ощадливе виробництво продукції приладобудування	43
Джугурян Т. Г., Марчук В. І., Марчук І. В., Олексин М. В., Сачковська Л. О. До визначення умов зниження температури безцентрового шліфування переривчастими кругами	48
Заблюцький В.Ю. к.т.н., доц., Прозоровський С.В., Селепина Й.Р. к.т.н. Визначення показників напружено-деформованого стану поверхневого шару	53
Карташов В.М., Сідоров Г. І., Колендовська М.М., Шейко С.О., Шаповалов С.В. Радиоакустичний вимірювач швидкості вітру у атмосферному прикордонному шарі	58
Кириленко Л. В. Реалізація в Україні європейських підходів з оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки	67
Кісіль Т.Ю., к.т.н., доц., Куницька Л.Г., к.т.н., доц., Туз В.В., к.т.н., доц. Про доцільність використання ультразвукових концентраторів в п'єзоелектричних віскозиметрах для контролю стану пломбувального матеріалу в стоматології	74
Коржов І.М. Методика калібрування установок вібровипробувальних	79
Kunytska L.G., Ph.D., associate professor, Kisil T.Yu., Ph.D., associate professor, Tuz V.V., Ph.D., associate professor Improving of parameters piezoelectric transducers for medical acoustics devices	92
Marchuk V. , D.Sc., Dzhuguryan T., D.Sc., Marchuk I., Ph.D., Oleksin N., Sachkovska L. Technological support for smoothing of the surface layer of parts	97
Олексин М.В. До визначення температури переривчастого шліфування поверхонь обертання кілець роликотішлипників	103
Рудько І. М., к.т.н., Баріляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н. Особливості вимірювання ухилів конструкційних елементів лісових доріг із застосуванням гравітаційного інклінометра маятникового типу	110
Sereda Borys, Gaydayenko Alexander, Irina Kruglyak, Dmytro Sereda Protective coatings obtained under conditions of shs for work in coke production	121
Середа Б. П., Муковська Д. Я. Дослідження ефективності роботи самоскидів белаза в умовах кар'єру металургійного підприємства	125
Середа Б.П., д.т.н., профессор, Палехова И.В., аспирант Формирование структуры и свойств легированных титановых покрытий на конструкционных сталях в нестационарных температурных условиях	132
Симонюк В.П., к.т.н., Денисюк В.Ю., к.т.н., Лапченко Ю.С., к.т.н., Красовський В.В. Математичне моделювання переміщення вібробункера при різних схемах вмикання електромагнітів	140

Федорчук-Мороз В.І., к.т.н., Вісин О.О., к.і.н. Підвищення рівня безпеки населення та територій при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у волинській області	150
Цивінда Н.І., к.т.н., Кіяновський М.В., д.т.н., Іванова О.Р. магістрант Вплив якості заготовок на ефективність механічної обробки деталей з високомарганцових сталей	156
Цірук В.Г., к.т.н. Аналіз системи ударо- і віброзахисту під час ударів	163
Чернета О. Г., к.т.н., Сухомлін В. І. к.т.н., Волощук Р. Г., Губарев С. В. к.т.н. Особливості структури відновленого поверхневого шару сталі 45 після зміцнення лазерним боруванням	170
Яндутьський О.С., д.т.н., проф., Марченко А.А., к.т.н., доц., Гулий В.С., аспірант. Дослідження ефективності вторинного регулювання частоти та потужності із залученням енергоблоків різних типів	176
Ящинський Л.В., Захарчук Д.А., Коваль Ю.В., Панасюк Л.І. Концентраційні залежності аероіонів хлориду натрію у різних зовнішніх умовах	182

УДК 621.43.068.4

Аверьянов В. С., к.т.н., Шматко Д. З., к.т.н., Сасов О. О., к.т.н.

Днепропетровский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

В данной работе разработана методика для исследования состава выхлопных газов автомобиля, который основан на методе газовой хроматографии. Проведены исследования вредных веществ, которые выбрасываются с выхлопными газами в атмосферу при эксплуатации автомобиля. Определены процентные показатели выбросов оксида углерода, углекислого газа и водорода двигателем внутреннего сгорания на разных режимах работы. Опасными выбросами являются оксиды углерода (угарный газ). Рассмотрены основные способы снижения выбросов вредных веществ автомобильным транспортом в атмосферу.

Ключевые слова: автомобили, выхлопные газы, вредные вещества, газовая хроматография.

Постановка проблемы. Автомобиль – не роскошь, а средство передвижения. Это известно всем. Но то, что машины из блага цивилизации может превращаться в ее бич, человечество стало понимать сравнительно недавно. Чем больше машин выходит на улицы, тем труднее горожанам мирно сосуществовать с их стальным гудящим и гадящим потоком. В выхлопах двигателей внутреннего сгорания содержатся окись углерода, окись азота, углеводороды, альдегиды, сажа, бенз(а)пирен, тяжелые металлы [1]. Окись углерода, попадая в кровь, так действует на красные кровяные тельца – эритроциты, что они теряют способность транспортировать кислород. В результате наступает кислородное голодание, что прежде всего сказывается на центральной нервной системе. Когда мы вдыхаем окислы азота, они в дыхательных путях соединяются с водой и образуют азотную и азотистую кислоту. В результате возникают не только раздражения слизистых, но и весьма тяжёлые заболевания. Считается, что окислы азота в 10 раз опаснее для организма, чем окись углерода.

Типичным представителем канцерогенных веществ, т.е. веществ, способствующих возникновению раковых опухолей, является бенз(а)пирен. Достаточно сказать, что учёные уже обнаружили в этих газах около 200 компонентов [2]. Именно, в развитии автотранспорта и, стало быть, во всё большем засорении городского воздуха автомобильными газами многие учёные видят главную причину увеличения смертности от рака лёгких. Частота этого заболевания в городе намного выше чем в сельской местности.

Автомобиль также является источником загрязнения воздуха пылью. Подсчитано, что за год эксплуатации покрышки одного легкового автомобиля стираются примерно на 1 кг, а грузового еще больше [3]. Во время езды, особенно при торможении, в результате трения покрышек о поверхность дороги образуется резиновая пыль, постоянно присутствующая в воздухе на магистралях с интенсивным движением. Но покрышки не являются единственным источником пыли. Твердые частицы в виде пыли выделяются с отработанными газами, завозятся в город в виде грязи на кузовах автомобилей, образуются от истирания дорожного покрытия, поднимаются в воздух вихревыми потоками, возникающими при движении автомобиля и т.д. Пыль негативно сказывается на здоровье человека, губительно действует на растительный мир.

Экологическая чистота – способность транспортного объекта «вписываться» в растительно-энергетические природные циклы и степень влияния его на окружающую среду (параметры состояния среды).

Поэтому специалисты, работающие на транспорте и в дорожном хозяйстве, должны стремиться обеспечить устойчивость транспортной системы – баланс «спрос-предложение» при повышении качества перевозок и сохранении экологически безопасного уровня воздействия на окружающую среду. Для этого будет целесообразным использовать метод газовой хроматографии для контроля выбросов вредных веществ в выхлопных газах автомобиля.

Целью работы является провести исследование влияния расхода топлива на концентрацию вредных веществ в выхлопных газах автомобиля, выделить перспективные направления развития автотранспорта с учетом его экологизации.

Основная часть. Газовая хроматография может быть определена как метод разделения газовых смесей путем многократного повторения процессов адсорбции (абсорбции) и десорбции при движении газовой смеси внутри хроматографической колонки [4].

Газохроматографические методы подразделяются на газо-адсорбционные и газо-жидкостные [5]. Разделение компонентов смеси в газо-адсорбционном варианте хроматографии основано на различиях в величине адсорбции у разделяемых веществ. В случае газо-жидкостной хроматографии разделение смеси основано на различии в растворимости компонентов смеси в неподвижной жидкой фазе. Мы будем рассматривать только газо-адсорбционный метод разделения смесей.

В связи с тем, что хроматографическое разделение чаще всего используется для качественного и количественного анализа сложных газовых смесей, термин «газовая хроматография» обычно ассоциируется с аналитическим методом, основанным на этом процессе [6].

На рисунке 1 приведена схема газового хроматографа служащего для качественного и количественного анализа состава газовых смесей. В процессе анализа смеси в поток газ-носителя вводится проба исследуемой газовой смеси. При прохождении через хроматографическую колонку, заполненную адсорбентом, исходная газовая смесь разделяется на ряд бинарных смесей, одним компонентом которых является газ-носитель, а другим – один из компонентов анализируемой смеси. Проходя через детектор, реагирующий на изменение свойств газа, например, на изменение его теплопроводности, эти бинарные смеси формируют ряд импульсов, регистрируемых самопишущим прибором.

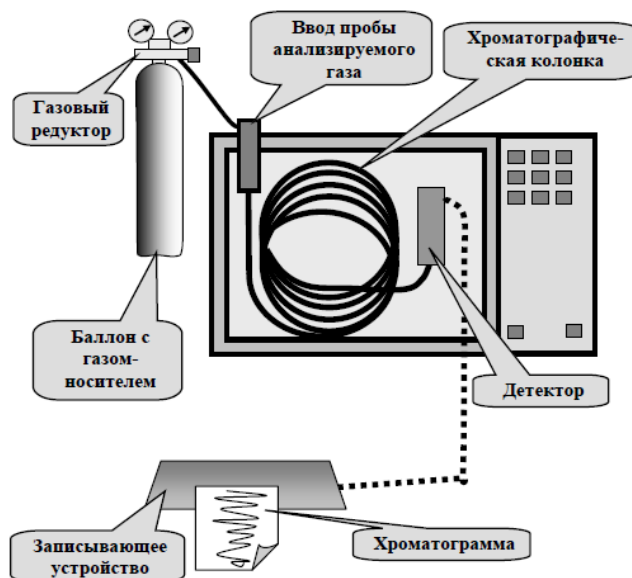


Рис.1. Принципиальная схема газового хроматографа

Работа газового хроматографа основана на том, что время прохождения каждого компонента анализируемой газовой смеси через хроматографическую колонку не зависит от ее состава, а является индивидуальным свойством данного компонента. Поэтому, если условия проведения анализа постоянны, то каким бы ни был состав исходной смеси, пик, соответствующий данному веществу всегда будет находиться на своем месте.

Для количественного анализа газовой смеси обычно используется высота или площадь полученных на хроматограмме пиков, которые пропорциональны концентрации данного компонента в исходной газовой смеси.

Методика эксперимента. Для проведения экспериментальных исследований был выбран хроматограф «Газохром-3101» - лабораторный переносной прибор.

Принципиальная схема хроматографа показана на рис. 2.

Газ-носитель (воздух) подается в разделительную колонку 1 с помощью микрокомпрессора мембранного типа 10 и попадает в рабочую камеру детектора 7 с

расположенным в ней чувствительным элементом, в котором платиновая нить «замурована» в слой алюмогеля (Al_2O_3), выполненного в виде шарика [7].

Другой газ-носитель (аргон) омывает соединенные последовательно разделительные колонки 2 и 3 и попадает в рабочую камеру детектора 8, в которой также расположен чувствительный элемент. Расход газов-носителей, поступающих в прибор одновременно, контролируется с помощью реометров 9. Чувствительные элементы включены в схему измерительного моста, питаемого от стабилизатора постоянного тока 12. В качестве вторичного прибора используем самопишущий потенциометр типа КСП-4 со шкалой 1 мВ.

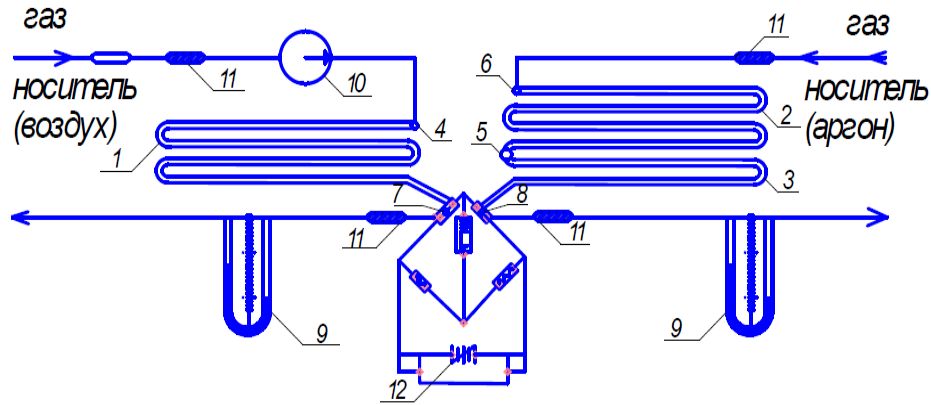


Рис. 2. Принципиальная схема хроматографа «Газохром-3101»

1-3 – разделительные колонки; 4-6 – дозирующие устройства; 7-8 – чувствительные элементы; 9 – реометры; 10 – микрокомпрессор; 11 – фильтры-осушители; 12 – выпрямитель.

В результате одного цикла газового анализа продолжительностью 10 мин зависимости от поставленной задачи хроматограф «Газохром-3101»

можно использовать в нескольких вариантах:

- для определения H_2 , CO, CH_4 , O_2 и N_2 при использовании двух газов-носителей (воздуха и аргона);

- для определения H_2 , CO, CO_2 , предельных и непредельных углеводородов до CH_4 включительно при использовании в качестве газа-носителя воздуха;

- для определения H_2 , CO и CH_4 при использовании в качестве газа-носителя воздуха.

Точность результатов количественного анализа на хроматографе зависит от тщательности проведения калибровки прибора. Калибровка хроматографа заключается в построении для каждого анализируемой смеси зависимости высоты пика от концентрации данного компонента.

В практике газового анализа получил наибольшее распространение метод абсолютной калибровки хроматографа. Калибровка хроматографа производится периодически перед каждой серией испытаний.

Исследование выхлопных газов проводилось у автомобиля ЗАЗ Forza на тормозном стенде модели К208М. Пробы выхлопных газов были взяты на холостом ходу (при оборотах двигателя 800, 1500, 2000 и 3000 об/мин) и при скорости движения 10, 20, 40, 60 км/час. Далее было проведено исследование процентного содержания CO, CO_2 и H_2 в каждой из проб.

Обработка результатов эксперимента. При газовом анализе смеси продуктов сгорания топлива автомобиля ЗАЗ Forza на хроматограмме обрабатывались только те пики, у которых время выхода соответствовало времени выхода определяемых компонентов CO, CO_2 и H_2 . Появившиеся на хроматограмме пики с другим временем выхода не обрабатывались.

Так как водород, который присутствует в выбросах выхлопных газов, не является опасным компонентом, то его значение процентного содержания в дальнейшем не учитывались.

По экспериментальным данным были построены графические зависимости выбросов вредных веществ CO и CO_2 на разных режимах работы двигателя с учетом топливно-экономической эффективности автомобиля ЗАЗ Forza (рис. 3).

На рисунке 4 и 5 приведены зависимости выбросов вредных веществ от скорости движения автомобиля и расхода топлива.

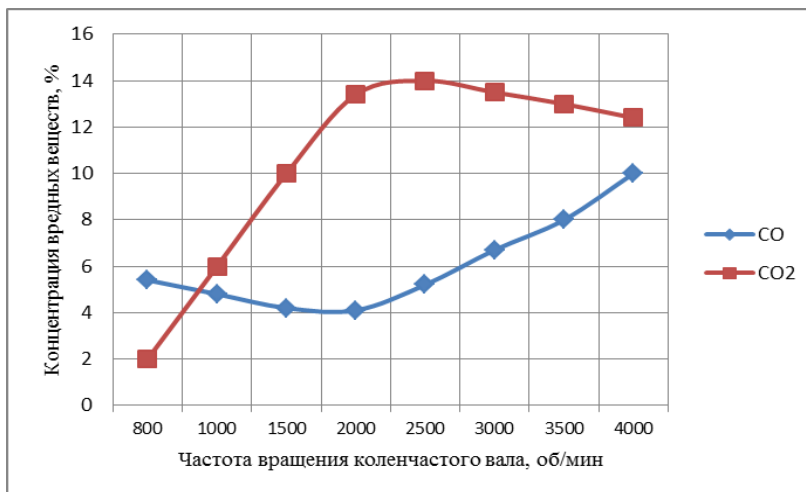


Рис. 3. Зависимость выбросов вредных веществ CO и CO₂ от режимов работы двигателя

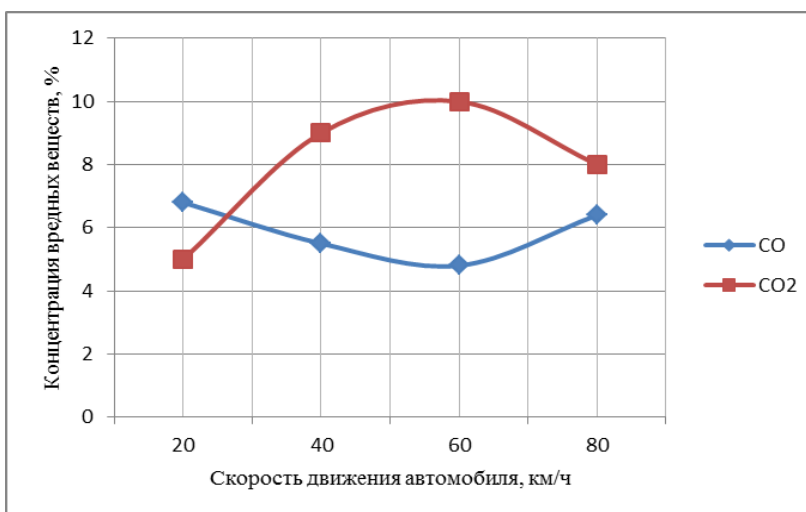


Рис. 4. Зависимость выбросов вредных веществ от скорости движения автомобиля

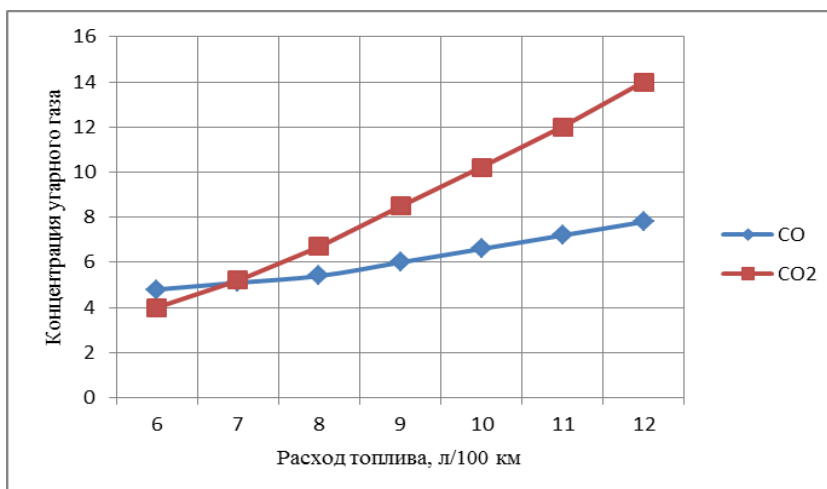


Рис. 5. Зависимость выбросов вредных веществ от расхода топлива автомобиля ЗАЗ Forza

Анализ экспериментальных данных показал, что количество вредных веществ в выхлопных газах напрямую зависит от количества сжигаемого топлива, то есть от топливно-экономической характеристики автомобиля

Экологичность автомобилей обеспечивает их топливная экономичность, то есть чем меньше топлива расходует автомобиль, тем меньше экологический ущерб.

Экономия топлива достигается за счет комплекса конструктивных и эксплуатационных мероприятий для принципиально сохраняемых конструкций автомобилей. Применительно к легковым автомобилям наибольшее влияние на уменьшение расхода топлива оказывают:

- уменьшение массы и размеров автомобиля;
- улучшение аэродинамических характеристик;
- снижение сопротивления качению;
- применение компьютеризированных систем контроля и управления двигателем и сокращение всех видов механических потерь.

В конструкции грузовых автомобилей основные источники экономии топлива – дизелизация, применение шин с наименьшим сопротивлением качению, улучшение аэродинамических форм и обтекателей.

Перспективными направлениями по совершенствованию современного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания являются: повышение коэффициента полезного действия двигателя за счет совершенствования процессов сгорания (турбонаддув, работа двигателя на переобедненных смесях, электронное зажигание); сокращение потерь на трение (уменьшение поверхности поршней, сокращение опорных поверхностей вкладышей, использование керамических покрытий); оптимизация режимов работы двигателя за счет электронных систем управления рабочими процессами двигателя; применение нескольких видов топлива (бензин-газ; дизельное топливо-газ).

Улучшению экологичности автомобильного транспорта способствует запрещение использования этилированного бензина. Кроме токсичности тетраэтилсвинца использование этилированного бензина быстро выводит из строя каталитические нейтрализаторы отработавших газов из-за обволакивания свинцом поверхности катализатора.

Идеальное топливо с точки зрения сохранения окружающей среды представляет водород, однако он значительно дороже бензина. Серьезную техническую и экономическую проблему представляет и размещение водорода в автомобиле и пока еще не найдено надежного и экономического пути использования водорода.

Альтернативные заменители бензина могут быть естественного и искусственного происхождения. При нормальных условиях они могут находиться в жидком (этанол, метанол) или газообразном (пропан, бутан, коксовый и генераторный газы, водород) состоянии. Преимущественное применение в качестве моторного топлива на автомобильном транспорте сжиженного нефтяного газа (ГСН) и сжатого природного газа (ГСП) обусловлено тем, что они имеют физико-химические свойства, близкие к бензину. Это требует лишь незначительного изменения конструкции двигателя и позволяет равнозначно работать на 2 видах топлива.

Для сведения к минимуму выбросов автотранспортом вредных веществ в атмосферу следует усовершенствовать системы управления городским транспортом. Необходимо особое внимание уделить системам регулирования уличного движения, которые сводят к минимуму возможность образования пробок, потому что, останавливаясь и потом набирая скорость, автомобиль выбрасывает в несколько раз больше вредных веществ, чем при равномерном движении.

Важным фактором в улучшении экологической обстановки города станет постройка автомагистралей, которые идут в обход него. Тем самым снизится поток транзитного транспорта, который раньше нескончаемой лентой тянулся по городским улицам, а также интенсивность движения, уменьшится шум.

Выводы:

1) С помощью газовой хроматографии определено процентное содержание вредных примесей, загрязняющих атмосферу, токсичных веществ в выхлопных газах автомобильного транспорта;

2) Самым опасным веществом, выбрасываемым с выхлопными газами автомобиля в атмосферу, который определен в ходе экспериментальных исследований, является оксид углерода (угарный газ);

3) Результаты, полученные в ходе исследования, показали, что количество вредных веществ в выхлопных газах напрямую зависит от количества сжигаемого топлива, то есть от топливно-экономической характеристики автомобиля.

Інформаційні джерела

1. Апостолук С.О. Промислова екологія / Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апостолук А.С. – К.: Знання, 2003. – 475 с.
2. Гутаревич Ю. Ф. Екологія автомобільного транспорту. – К.: 2002.
3. Козлов Ю.С. Екологічна безпека автомобільного транспорту. – М.:, 2002.
4. Большова Т.А. Основы аналитической химии. / Т.А. Большова и др. – М.: Академия, 2012. – 384 с.
5. Руденко Б.А. Высокоэффективные хроматографические процессы / Б.А. Руденко, Г.И. Руденко. – М.: Наука, 2003. – 384 с.
6. Modern Practice of Gas Chromatography, Fourth Edition. Edited by Robert L. Grob and Eugene F. Barry ISBN 0-471-22983-0 Copyright. 2004 John Wiley & Sons, Inc.
7. Хроматограф «Газохром-3101» Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1981.

Авер'янов В. С. к.т.н., Шматко Д. З. к.т.н., Сасов О. О. к.т.н.
Дніпровський державний технічний університет

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛІВ

У даній роботі розроблена методика для дослідження складу вихлопних газів автомобіля, який заснований на методі газової хроматографії. Проведено дослідження шкідливих речовин, які викидаються з вихлопними газами в атмосферу при експлуатації автомобіля. Визначено процентні показники викидів оксиду вуглецю, вуглекислого газу і водню двигуном внутрішнього згорання на різних режимах роботи. Небезпечними викидами є оксиди вуглецю (чадний газ). Розглянуто основні способи зниження викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом в атмосферу.

Ключові слова: автомобілі, вихлопні гази, шкідливі речовини, газова хроматографія.

V. Averyanov, D. Shmatko, O. Sasov
Dneprovskiy State Technical University

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR INVESTIGATION OF EXHAUST GASES OF AUTOMOBILES

In this paper, a technique has been developed to study the composition of automobile exhausts, which is based on the method of gas chromatography. Studies of harmful substances that are emitted with exhaust gases into the atmosphere during the operation of the car are conducted. The percentages of emissions of carbon monoxide, carbon dioxide and hydrogen by an internal combustion engine are determined at different operating modes. Dangerous emissions are carbon oxides (carbon monoxide). The main ways to reduce emissions of harmful substances by road transport into the atmosphere are considered.

Keywords: automobiles, exhaust gases, harmful substances, chromatography.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2018

УДК 628.356

Барибін О.І., к.т.н.

Донецький національний університет імені Василя Стуса

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРАЦІЇ В ЧИСТІЙ ВОДІ

В статті розглянуто особливості методики виконання вимірювань коефіцієнту об'ємного масопереносу кисню, яка описана у стандарті організації ASCE (American Society of Civil Engineers) та застосовується під час використання найбільш вживаного методу змінного дефіциту кисню для визначення ефективності аерації. Наведено результати експериментальних досліджень величини концентрації розчиненого кисню, коефіцієнту об'ємного масопереносу кисню, окислювальної здатності та ефективності аерації у динаміці під час визначення величини ефективності аерації для різних режимів роботи пневматичного аератора власної розробки. Показано, що формули, які застосовуються на сьогоднішній день для обчислення коефіцієнту об'ємного масопереносу кисню (і відповідно окислювальної здатності і ефективності аерації) не можуть бути коректно використані для порівняння характеристик аераторів при значеннях величини концентрації розчиненого у воді кисню близьких до концентрації насичення. Рекомендовано проводити обчислення ефективності аерації при фіксованому значенні концентрації розчиненого у воді кисню, наприклад, 2, 3 або 4 мг/л.

Ключові слова: аерація води, ефективність аерації, окислювальна здатність.

Вступ. Аерація, як процес збагачення води киснем повітря, найчастіше застосовується в системах очистки стічних вод з активним мулом, де вона є необхідною умовою протікання процесу біохімічного окислення забруднень. Вибір способу аерації для конкретної очисної установки залежить від багатьох факторів, але ключовим є ефективність пристроїв, які використовуються для процесу, що розглядається. Існує велике різноманіття конструкцій таких пристроїв (аераторів): барботажні, механічні, струменеві тощо [1]. Для оцінки ефективності аераторів базовим параметром визнано ефективність аерації E – кількість кисню, що розчиняється у воді, що очищується, при енерговитратах на аерацію в 1 кВт•год [2].

Очевидно, що коректність порівняння між собою величини цього параметру для різних конструкцій аераторів може впливати на прийняття рішення щодо їх вибору, тому постійний перегляд та вдосконалення методики визначення ефективності аерації є актуальною проблемою.

Відповідно метою роботи є детальний аналіз методики виконання вимірювань ефективності аерації та формування рекомендацій щодо її вдосконалення.

Постановка завдання. На практиці ефективність аерації E обчислюється за формулою:

$$E = \frac{OЗ}{N_{ном}t}, \quad (1)$$

де $OЗ$ – окислювальна здатність,

$N_{ном}$ – номінальна споживана потужність аератора, кВт/год,

t – час процесу аерації, годин.

У формулі (1) величину параметру $N_{ном}$ можна взяти із технічної документації аератора, а визначення часу аерації не являє собою серйозної метрологічної проблеми. Відповідно на валідність результатів визначення E впливає те, яким чином було визначено $OЗ$. Як відомо з [3-7], окислювальна здатність аератора визначається за формулою:

$$OЗ = K_{La} \times C_s \times V_g, \quad (2)$$

де K_{La} – об'ємний коефіцієнт масопереносу, 1/с,

C_s – концентрація насичення води киснем при даних атмосферному тиску і температурі води (визначається за відповідними таблицями [8]), мг/л, V_g – обсяг води, що аерується, м³.

Очевидно, що визначення $OЗ$, у свою чергу, базується на визначенні об'ємного коефіцієнту масопереносу кисню K_{La} , яке здійснюється експериментальним шляхом за допомогою таких методів [4]:

1. метод прямого окислення сульфїту натрію;
2. метод змінного дефіциту кисню;
3. метод змінного дефіциту кисню для стїчної води з активним мулом;
4. метод постійного дефіциту кисню;
5. метод балансу кисню в повітрі.

Найбільш вживаним серед них для визначення ефективності аерації є метод змінного дефіциту кисню, який, в тому числі, рекомендований як базовий для визначення окислювальної здатності (англ. standard oxygen transfer rate) за методикою виконання вимірювань, яка описана у стандарті організації ASCE (American Society of Civil Engineers) [3], є обов'язковою до застосування у США і широко використовується на добровільних засадах по всьому світу.

Не вдаючись у деталі зазначимо, що для реалізації вищезгаданої методики до резервуару з чистою водою вводять сульфїт натрію в кількостях необхідних для повного видалення кисню з рідини [6, 9]. Відповідно до [10] для видалення 1 мг/л кисню необхідно 7,9 мг сульфїту натрію. Після цього воду аерують і через певні проміжки часу фіксують рівень розчиненого кисню. Об'ємний коефіцієнт масопереносу кисню визначається за формулою [5-7, 11]

$$K_L a = \frac{2,303[\lg(C_S - C_n) - \lg(C_S - C_k)]}{t}, \quad (3)$$

де C_n – початкова концентрація кисню $C_n < (0,2 \cdot C_S)$,

C_k – кінцева концентрація кисню $C_k > (0,98 \cdot C_S)$.

Наукові публікації, які стосуються цієї методики, пов'язані з такими її особливостями:

- можливість її використання в умовах забрудненої води [11];
- визначення покриття об'єму очисного резервуару експериментальними точками [12];
- порівняння із авторськими моделями масопереносу кисню [13, 14].

Перераховані вище роботи не ставлять під сумнів саму методику, але її особливістю є те, що вона не передбачає врахування проміжних значень концентрації розчиненого кисню C_i ($C_n < C_i < C_k$). Відповідно основним завданням роботи є отримання експериментальних значень концентрації розчиненого кисню C , коефіцієнту об'ємного масопереносу кисню $K_L a$, окислювальної здатності O_3 та ефективності аерації E у динаміці під час визначення величини E для різних режимів роботи пневматичного аератора власної розробки [15] та аналіз можливості використання C_i для оцінки ефективності аерації.

Методи дослідження. Вимірювання зазначених вище параметрів проводилися на експериментальному стенді, схема якого наведена на рис. 1.

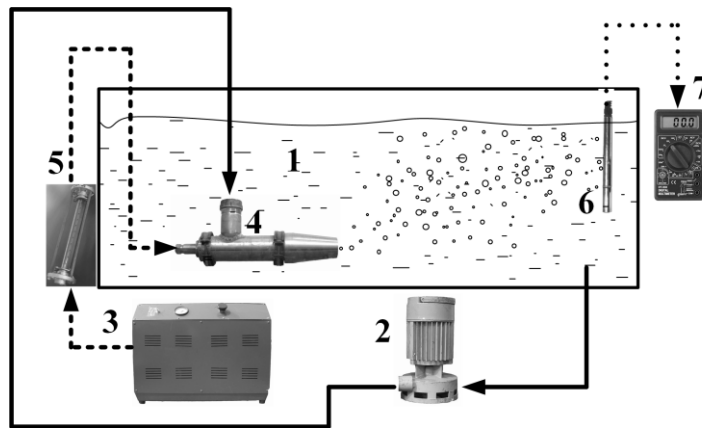


Рис. 1. Схема експериментального стенду: 1 - обсяг рідини, що аерується; 2 - електронасос БЦ-1.1-18-У1.1; 3 - компресорна установка УК40-2М; 4 - пневматичний аератор; 5 - ротаметр РМ-2,5ГУЗ; 6 - киснемір; 7 - цифровий мультиметр.

Для вимірювання розчиненого у воді кисню використовувався киснемір ДК-404 [16], який включає в себе перетворювач концентрації кисню в напругу і модуль струмового виходу, що перетворює напругу в вихідний струм кисневого датчика. Принцип роботи киснеміра такий: електроди занурені в розчин електроліту, який відділений від аналізованого середовища мембраною, проникною для кисню, але непроникною для рідини і парів води; кисень з середовища, що аналізується, дифундує через мембрану в тонкий шар електроліту між катодом

і мембраною і вступає в електрохімічну реакцію на поверхні катода, який поляризується під дією зовнішньої напруги, яка прикладена між електродами. При цьому в датчику виробляється сигнал постійного струму, який надходить на цифровий мультиметр та фіксується кожні 5 секунд.

Об'єм рідини установки складає 1 м^3 . Робота аератора забезпечується насосом для подачі води і компресорної установкою для подачі повітря.

Експеримент проходить за наступною схемою:

1. Проводиться установка необхідної витрати води.
2. В обсяг рідини відповідно до показань киснеміра вводиться розчин сульфату натрію.
3. Після того, як розчинений кисень зв'язується, включається компресор і вентилем, установленим перед ротаметром, встановлюється необхідна витрата газу.
4. Проводиться запис показань цифрового мультиметра.

Повна похибка вимірювання концентрації розчиненого кисню у відповідності з рекомендаціями зазначеними в [16] становить

$$\sigma_C = \pm (0,08 + 0,042C_i), \quad (4)$$

де C_i – поточне значення концентрації розчиненого кисню, мг/л.

Для експериментальних досліджень були обрані 4 режими з витратами води $Q_{вод}$ і повітря $Q_{пов}$: P1 – $Q_{вод} = 9,2 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{пов} = 4,5 \text{ м}^3/\text{год}$; P2 – $Q_{вод} = 9,2 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{пов} = 2,3 \text{ м}^3/\text{год}$; P3 – $Q_{вод} = 7,7 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{пов} = 4,5 \text{ м}^3/\text{год}$; P4 – $Q_{вод} = 7,7 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{пов} = 1,9 \text{ м}^3/\text{год}$.

Результати експерименту. Наведені на рис. 2 дані показують класичну картину зростання концентрації розчиненого у воді кисню. Дійсно, відповідно до загальноприйнятих теорій рушійною силою процесу аерації є різниця концентрації насичення C_s і концентрації в даний момент часу C_i [4, 17]. Відповідне зменшення градієнта концентрації розчиненого кисню, яке пов'язане з наближенням значення C_i до C_s викликає зменшення швидкості переносу кисню в воду. Слід зазначити, що максимальна величина похибки вимірювання концентрації розчиненого кисню відповідно до формули (4) складала $\pm 0,5 \text{ мг/л}$, тобто не виходила за межі 5% (на рис. 2 не наведена).

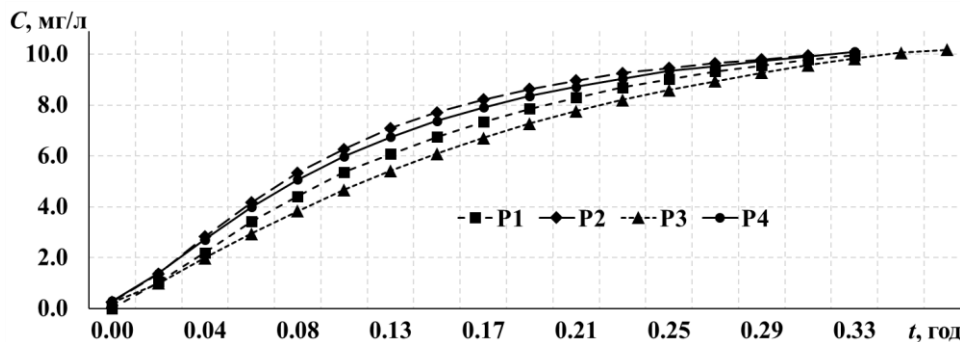


Рис. 2. Динаміка зміни концентрації розчиненого у воді кисню

Дані зміни величини K_{La} для різних режимів подібні (рис. 3). При цьому характерно прискорення зростання K_{La} на початку і в кінці процесу аерації.

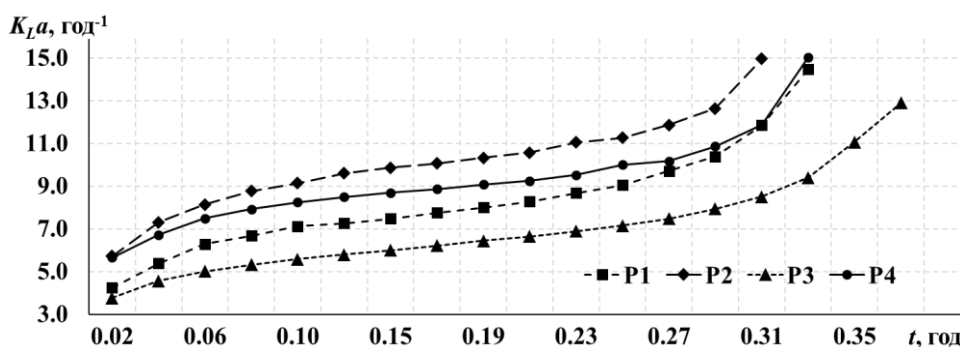


Рис. 3. Динаміка зміни величини коефіцієнту об'ємного масопереносу кисню

Трохи інша картина спостерігається для динаміки окислювальної здатності (рис. 4), графіки якої для різних режимів так само подібні. Однак, слід зазначити істотне прискорення зростання окислювальної здатності лише в кінці процесу аерації, тобто при концентраціях розчиненого кисню, що наближаються до концентрації насичення. Пояснення такої поведінки буде дано нижче.

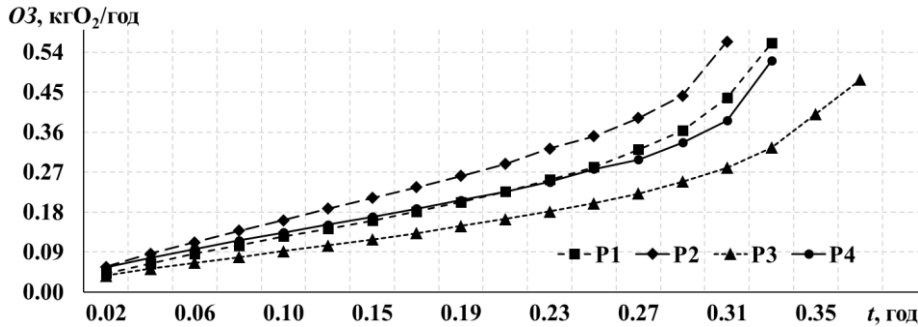


Рис. 4. Динаміка зміни величини окислювальної здатності

На перший погляд, характер поведінки кривих на рис. 5 може говорити про те, що найбільш ефективною є аерація при високих і при низьких градієнтах концентрації розчиненого кисню в рідині.

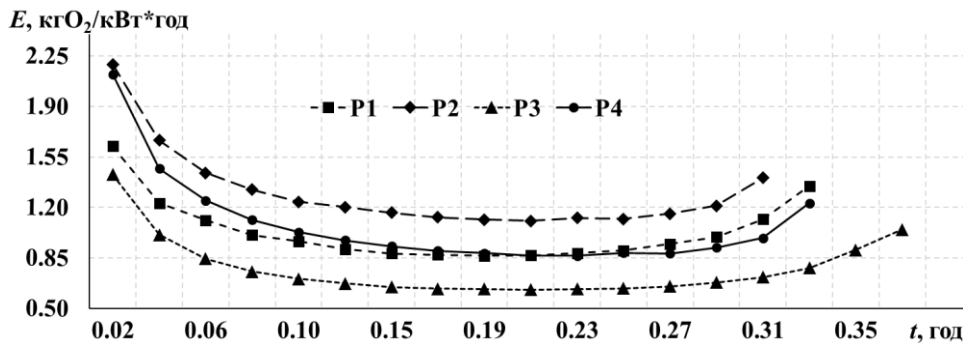


Рис. 5. Динаміка зміни величини ефективності аерації

Дійсно, при великих градієнтах високу ефективність можна пояснити високою швидкістю перенесення кисню. Однак, очевидно, що ефективність аерації не може рости, коли збільшення кількості споживаної енергії вже не призводить до насичення води киснем. Можна припустити, що при низьких градієнтах розчиненого у воді кисню зростання ефективності аерації, як і зростання окислювальної здатності та об'ємного коефіцієнта масопереносу, може бути пояснене тільки видом формули (3) для обчислення $K_L a$, за якою при $C_s - C_i \rightarrow 0$ відбувається різке нелінійне зростання значення логарифма цієї різниці (рис. 16).

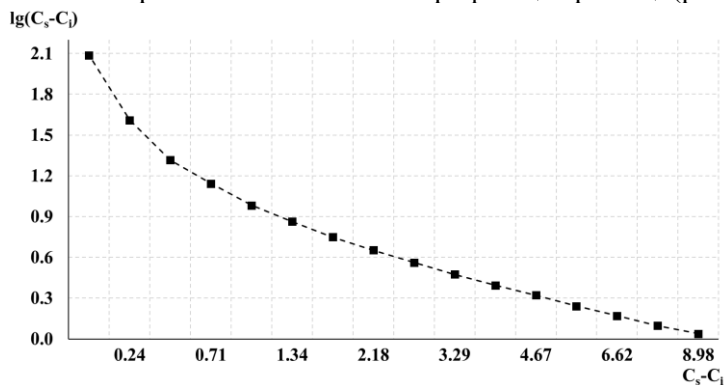


Рис. 6. Приклад залежності величини логарифма $C_s - C_i$ від величини $C_s - C_i$ для режиму P1

Такі дані ставлять під сумнів достовірність отриманих дослідниками результатів, у зв'язку з тим, що вони, наводячи дані про ефективність аерації, не вказують при якому значенні $C_s - C_k$ проводилися обчислення.

Висновки. Результати, які отримані під час аналізу залежностей концентрації розчиненого кисню C , об'ємного коефіцієнта масопереносу $K_L a$, окислювальної здатності O_3 і ефективності аерації E від часу аерації, потребують додаткової перевірки для більшої кількості режимів роботи аератора, що використовувався, та застосування аераторів інших моделей. Однак навіть зараз можна зробити висновок про те, що формули, які застосовуються на сьогоднішній день для обчислення $K_L a$ (і відповідно O_3 і E) не можуть бути коректно використані для порівняння характеристик аераторів при значеннях C_k близьких до C_s , при тому, що саме цього вимагає загальноживана методика виконання вимірювань.

З огляду на те, що підвищення вмісту розчиненого кисню вище 3,5-4 мг/л мало впливає на ефективність біохімічного окислення забруднюючих речовин [1], можна рекомендувати проводити обчислення ефективності аерації при фіксованому значенні C_k , наприклад, 2, 3 або 4 мг/л.

Інформаційні джерела

1. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Жмур Н. С. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Ba'ba'a H. B. M. Al A New Correlation for Predicting Aeration Efficiency for Air Diffused Systems : Master of Science Thesis / H. B. M. Al Ba'ba'a. – University of Wisconsin-Milwaukee, 2015. – 67 p.
3. Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water: ASCE Standard, ASCE/EWRI 2-06. American Society of Civil Engineers, 2007 – 32 p.
4. Сивак В. М. Аэраторы для очистки природных и сточных вод / В. М. Сивак, Н. Е. Янушевский. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. Ун-те, 1984. – 124 с.
5. Худенко Б. М. Аэраторы для очистки сточных вод / Б. М. Худенко, Е. А. Шпирт – М. : Стройиздат. 1973. – 112 с.
6. Орлов А. В. Интенсификация работы очистных сооружений с применением пневмогидравлических аэраторов : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд техн наук : специальность 05.23.04 "Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов" / А. В. Орлов . – Иркутск, 2009. – 18 с.
7. Помогаева В. В. Интенсификация работы струйных аэраторов при насыщении воды атмосферным кислородом / В. В. Помогаева, И. Ю. Пурусова // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2006. – Vol. 2. – С. 48–50.
8. Кузьмина И. А. Содержание растворенного кислорода в воде: Методические указания / Кузьмина И. А. – НовГУ, Великий Новгород, 2007. – 12 с.
9. Андреев С. Ю. Интенсификация работы канализационных очистных сооружений с использованием диспергированных водовоздушных смесей : автореф. дисс. на соискание ученой степени док. техн. наук : специальность 05.23.04 "Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов" / С. Ю. Андреев . – Пенза, 2009. – 35 с.
10. Фрог Б. Н. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко – М. : Издательство МГУ, 1996 г. – 680 с.
11. Stenstrom M. K. Theory to practice: Oxygen transfer and the new ASCE standard. 79th WEFtec Conference / M. K. Stenstrom, S-Y. Leu, P. Jiang. – Dallas : Water Environment Foundation, 2006. – pp. 4838-4852
12. Muszyński-huhajło M. Accurate oxygen transfer efficiency measurements by off-gas method - tank coverage dilemma / M. Muszyński-huhajło, K. Janiak // Proceedings of ECOpole. – 2017. – Vol. 11(1). – pp. 45-53
13. Fandriks I. Alternative Methods for Evluation of Oxygen Transfer Performance in Clean Water : Master Thesis / I. Fandriks. – Uppsala : Uppsala University, 2011. – 101 p.
14. He Y. An Alternative Mathematical Model for Oxygen Transfer Evaluation in Clean Water / Y. He // Water & Wastes Digest. – 2016. – Vol.1. – pp. 1-10.
15. Барыбин А. И. Конструкция пневматического аэратора сточных вод, альтернативного эжекторным устройствам аэрации / А. И. Барыбин // Экология и промышленность. – 2010. – № 2. – С. 29-32. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2010_2_8

16. Анализатор растворенного кислорода Марк-404 : руководство по эксплуатации. – Нижний Новгород, 2001. – 37 с.

17. Попкович Г. С. Системы аэрации сточных вод / Г. С.Попкович, Б. Н. Репин. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.

Барыбин А.И.

Донецкий национальный университет имени Василя Стуса

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРАЦИИ В ЧИСТОЙ ВОДЕ

В статье рассмотрены особенности методики выполнения измерений коэффициента объемного массопереноса кислорода, которая описана в стандарте организации ASCE (American Society of Civil Engineers) и применяется при использовании наиболее распространенного метода переменного дефицита кислорода для определения эффективности аэрации. Приведены результаты экспериментальных исследований величины концентрации растворенного кислорода, коэффициента объемного массопереноса кислорода, окислительной способности и эффективности аэрации в динамике при определении величины эффективности аэрации для различных режимов работы пневматического аэратора собственной разработки. Показано, что формулы, применяемые на сегодняшний день для вычисления коэффициента объемного массопереноса кислорода (соответственно, окислительной способности и эффективности аэрации) не могут быть корректно использованы для сравнения характеристик аэраторов при значениях величины концентрации растворенного в воде кислорода близких к концентрации насыщения. Рекомендовано проводить вычисления эффективности аэрации при фиксированном значении концентрации растворенного в воде кислорода, например, 2, 3 или 4 мг / л.

Ключевые слова: аэрация воды, эффективность аэрации, окислительная способность.

Barybin O.I.

Vasyl' Stus Donetsk National University

FEATURES OF THE AERATION EFFICIENCY MEASUREMENT IN PURE WATER

The article discusses the features of the measurement procedure for the oxygen mass transfer coefficient, which is described in the American Society of Civil Engineers (ASCE) standard and is used for the most commonly used alternative deficit method to determine the aeration efficiency. The results of experimental studies of the dissolved oxygen concentration, the oxygen volumetric mass transfer coefficient, standard oxygen transfer rate and aeration efficiency in dynamics during determination of the value of aeration efficiency for different operating conditions of the pneumatic aerator of the own design are given. It is shown that the formulas used today to calculate the oxygen volumetric mass transfer coefficient (and, accordingly, standard oxygen transfer rate and aeration efficiency) can not be correctly used to compare the characteristics of aerators within values of the dissolved oxygen concentration in water close to the dissolved oxygen saturation concentration at standard conditions. It is recommended to calculate the aeration efficiency using a fixed value of the dissolved oxygen concentration in water, for example, 2, 3 or 4 mg/l.

Key words: aeration of water, aeration efficiency, standard oxygen transfer rate.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2018

УДК 621.314

Батыгин Ю.В., д.т.н., Шиндерук С.А, к.т.н., Сериков Г.С., к.т.н., Еремина Е.Ф., к.т.н.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы было проведение экспериментальных исследований резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения, анализ результатов измерений и, в конечном итоге, обоснование практической действенности предложенного резонансного усилителя мощности. Показано, что в принятой схеме с достаточной строгостью соблюдаются резонансные условия в контурах (отклонения по частотам не превышают ~0.8%). В целом сравнение результатов измерений с расчётными данными показало достаточно хорошее их согласие. Незначительные расхождения можно объяснить отклонением реальных рабочих частот в контурах от расчётных и влиянием внешних электромагнитных полей, генерируемых отдельными компонентами резонансных контуров усилителя. Выводы проведенных исследований согласуются с рекомендациями Н. Тесла, соответственно которым резонансная «накачка» вторичного «выходного» контура должна производиться достаточно малыми электрическими воздействиями со стороны первичного «входного» контура на частоте, равной собственным частотам контуров усилителя. Основным результатом проведенных на экспериментальной модели испытаний является ~ 35-кратное усиление реактивной электрической мощности.

Ключевые слова: трансформатор Тесла, резонансный усилитель электрической мощности, электромагнитные процессы, активная нагрузка.

Постановка задач настоящего рассмотрения инициирована практическим интересом к резонансным явлениям в электротехнике. На практическое использование этих явлений для решения проблем энергетики впервые указал Никола Тесла. Более ста лет назад, 22 сентября 1896 года, он предложил и запатентовал «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала». В основе предложения, названного по имени изобретателя «трансформатором Тесла», лежит явление резонанса, позволившее получить необычайно высокий коэффициент усиления напряжения ($k > 1000$) [1].

Без сомнения, идеи использования резонансных явлений, выдвинутые Николой Тесла, достойны не просто продолжения, а тщательного изучения и конечной реализации в виде совершенных преобразователей электрической энергии [2].

Исследованиям трансформатора Тесла, как высоковольтного генератора, разнообразным предложениям практического использования физических принципов, заложенных в основу его действенности, теории протекающих процессов и оценкам количественных характеристик посвящены многочисленные работы, например, [3-7]. Так, в научной монографии [3] описана техника формирования мощных наносекундных импульсов, вкратце освещены отдельные вопросы высоковольтных электрических цепей. Автором работы [4] дана ретроспектива создания высокоэффективных устройств преобразования электрической энергии, описаны практические достижения, защищённые патентами стран Европы и Америки, освещены принципы получения, так называемого, «холодного» электричества. В монографии [5], исходя из взглядов автора как электрофизика, представлена принципиальная действенность трансформатора Тесла, описаны отдельные эксперименты, предложена структурная схема генератора электрической энергии. Теоретическому анализу электромагнитных процессов в трансформаторе Тесла, расчётам его базовых характеристик посвящены работы [6, 7]. Авторами получены аналитические выражения для возбуждаемых токов и напряжений, подтвержденные экспериментальными выводами самого Н. Тесла, даны оценки амплитуд выходного напряжения при вариации рабочих частот относительно резонансного значения и др.

Авторами была предложена и теоретически обоснована работоспособность резонансного усилителя электрической мощности, принцип действия которого связывает резонансные эффекты в трансформаторе Тесла и возможности усиления тока в индуктивно связанных резонансных контурах, представленные в авторитетном издании [8]. Теоретические положения

и численные оценки действенности предложенного резонансного усилителя электрической мощности требуют экспериментального подтверждения, а собственно предложенный усилитель подлежит практической апробации.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение характеристик резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения, сравнение результатов измерений с расчётными данными и, в конечном итоге, обоснование практической действенности предложенного резонансного усилителя мощности.

Научная новизна настоящей работы состоит в экспериментальном определении характеристик электромагнитных процессов в предложенной схеме резонансного усилителя, направленном на обоснование принципиальной действенности предложенного резонансного усилителя электрической мощности

Объект исследования – экспериментальная модель резонансного усилителя мощности.

Электрическая и монтажная схемы представлены на рис.1, а. общий вид экспериментальной модели – на рис. 2.

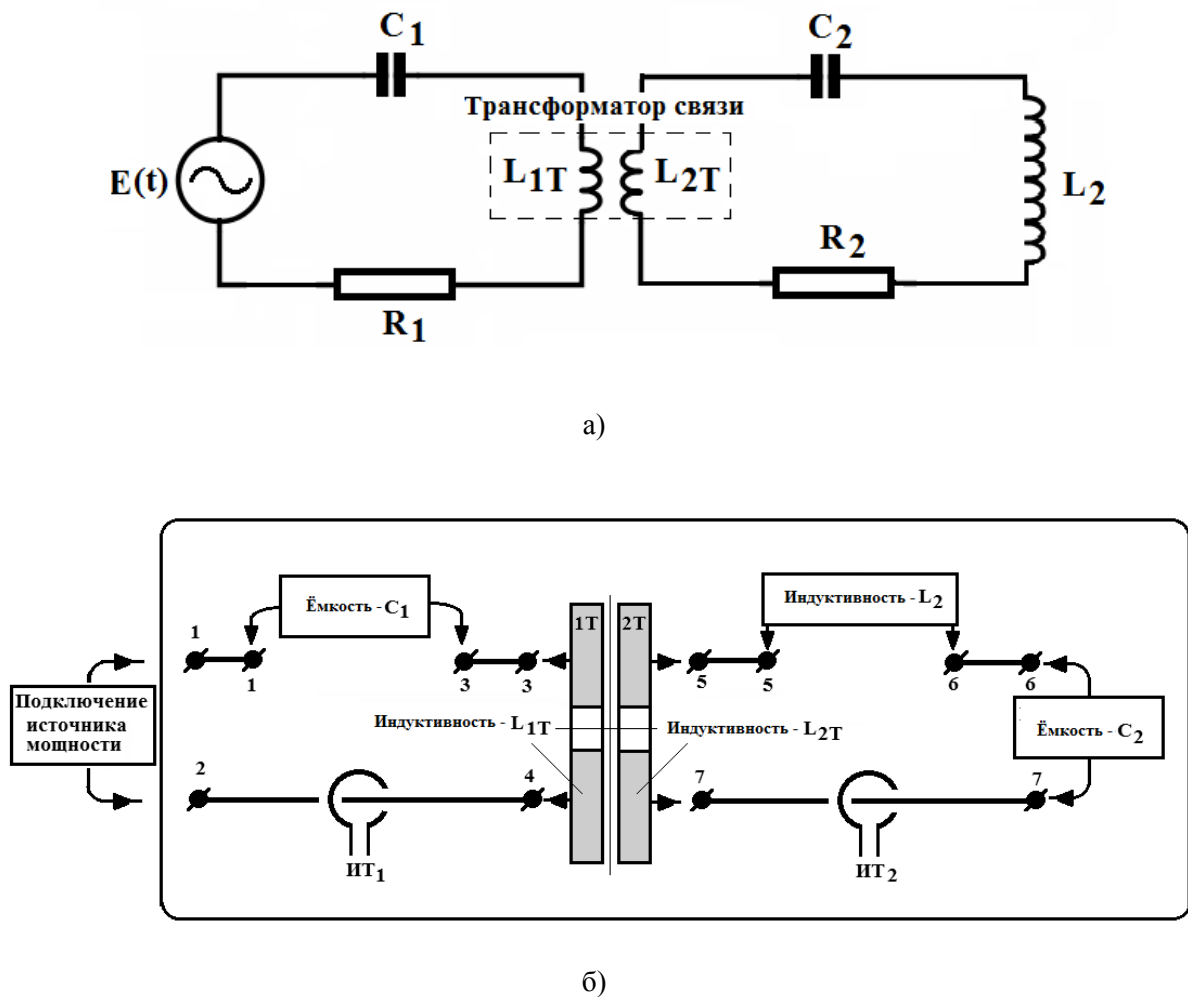


Рис.1. Экспериментальная модель резонансного усилителя мощности,

а) электрическая схема замещения,

первый контур: $E(t)$ - источник гармонического напряжения, C_1 - ёмкость, L_{1T} - индуктивность первичной обмотки трансформатора связи между контурами, R_1 - активное сопротивление; второй контур: C_2 - ёмкость, L_{2T} - индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи между контурами, L_2 - «выходная» индуктивность, R_2 - активное сопротивление.

б) монтажная схема с обозначениями, соответствующими электрической схеме, ИТ₁, ИТ₂ - измерители тока в первом и втором контурах, соответственно

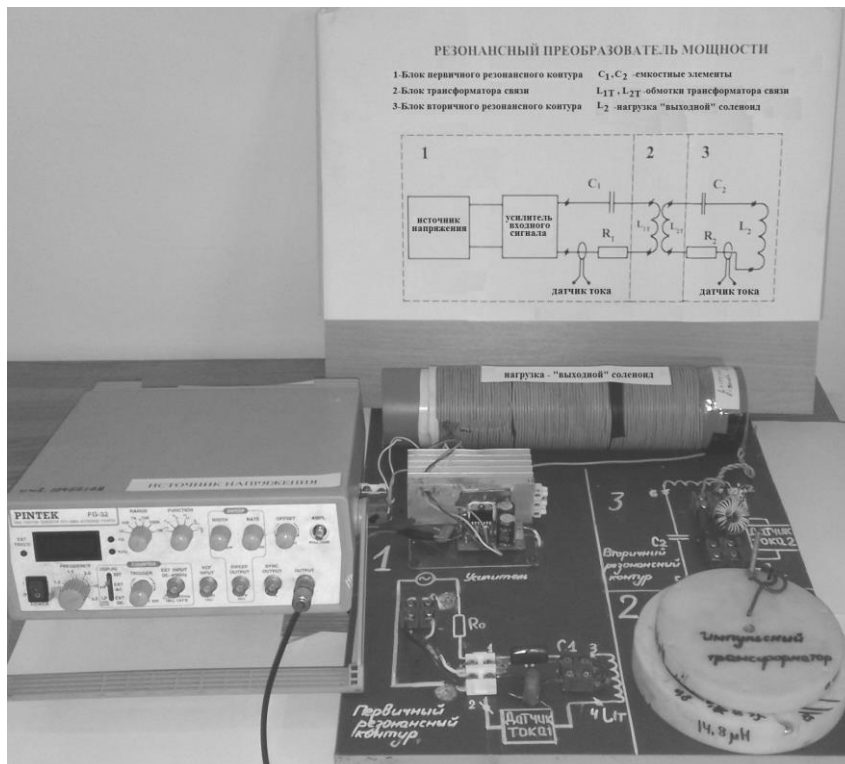


Рис.2. Общий вид экспериментальной модели.

Отметим, что монтажная схема, фактически, представляет собой конструктивное выполнение модели усилителя с нижеследующими особенностями.

Монтажная схема выполняется на листовом диэлектрике (монтажная плата).

Геометрия рисунка соединительных токопроводов и расположения элементов определяется их размерами с жёсткой фиксацией на плоскости монтажной платы.

Точки измерения, согласно расположению на монтажной схеме, должны быть выведены в виде клемм для подсоединения контактов от измерителя напряжений.

Измерители тока – пояса Роговского с известными параметрами преобразования измеряемых сигналов (тарировка) жёстко фиксируются на плате согласно монтажной схеме.

Рабочие параметры экспериментальной модели:

Источник гармонического напряжения:

амплитуда – $E_m \geq 1,0$ В;

рабочая частота – $f = 25$ кГц.

Первый контур:

собственная частота, $f_1 = 25$ кГц (после настройки $\sim 24,89$ кГц);

первичная обмотка трансформатора связи – $L_{1T} \approx 14,8$ мкГн;

конденсатор ёмкостью – $C_1 = 2,763$ мкФ;

суммарное активное сопротивление элементов контура – $R_1 = 0,1$ Ом.

Второй контур:

собственная частота, $f_2 = 25,0$ кГц (после настройки $\sim 24,93$ кГц);

вторичная обмотка трансформатора связи – $L_{2T} \approx 14,8$ мкГн;

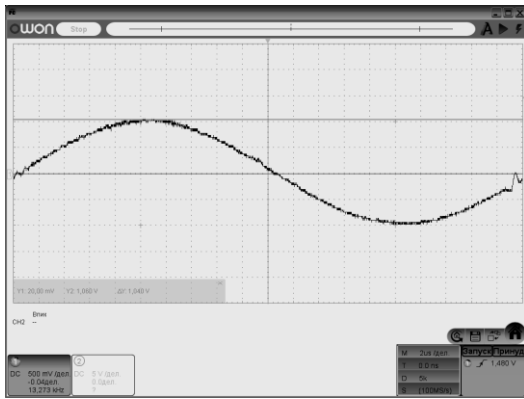
«выходная» индуктивность преобразователя – $L_2 \approx 169,2$ мкГн;

конденсатор ёмкостью – $C_2 = 0,22$ мкФ;

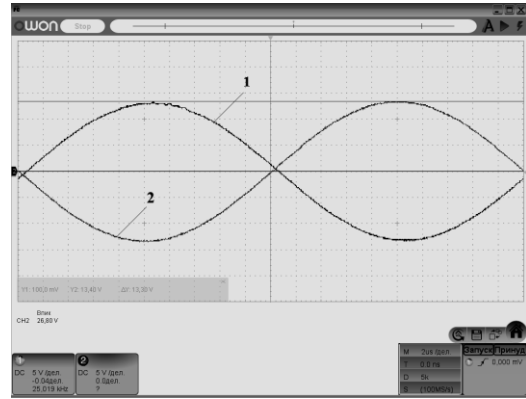
суммарное активное сопротивление – $R_2 = 0,35$ Ом.

После подсоединения источника мощности к входным клеммам и тщательной настройки контуров к работе в резонансном режиме были проведены измерения напряжений и токов согласно монтажной схеме объекта исследования.

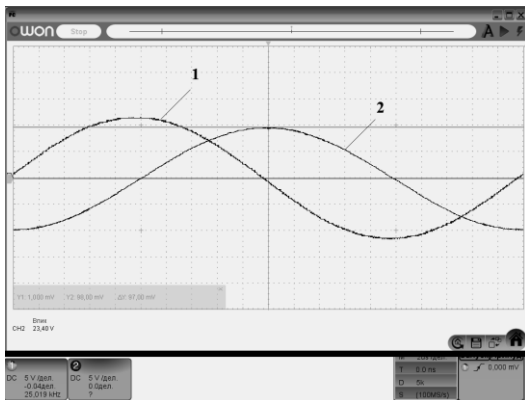
На рис.3. и рис.4. представлены характерные осциллограммы токов и напряжений, иллюстрирующие электромагнитные процессы в исследуемом усилителе электрической мощности.



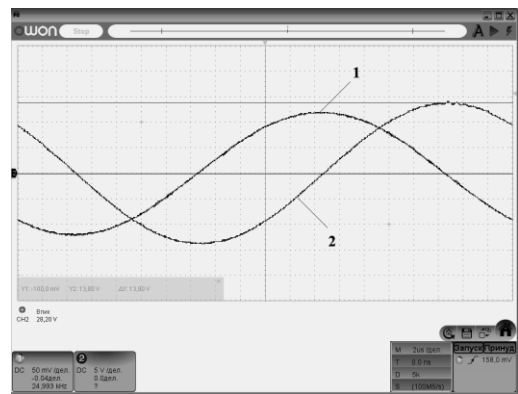
а)



б)



в)



г)

Рис.3. Первый контур,

- а) напряжение на выходе источника гармонического напряжения;
- б) напряжение на индуктивности – 1, напряжение на ёмкости – 2;
- в) напряжение на ёмкости – 1, ток – 2;
- г) ток в индуктивности – 1, напряжение на индуктивности – 2.

Оценки результатов измерений.

1) Первый контур – «входной» контур усилителя, строгость выполнения условий резонанса: условие резонанса

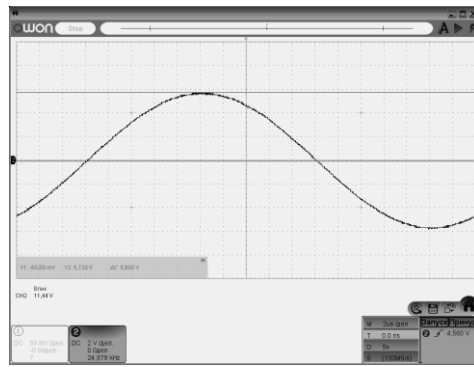
$$\delta_1 = \frac{\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1}}{0.5 \cdot \left(\omega L_{1T} + \frac{1}{\omega C_1} \right)} = 0,08; \quad (1)$$

2) Второй контур – «выходной» контур усилителя, строгость выполнения условий резонанса: условие резонанса

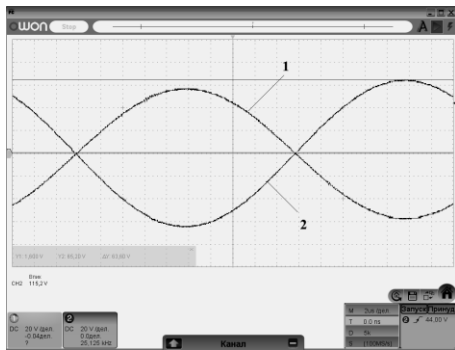
$$\delta_2 = \frac{\omega(L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2}}{0.5 \cdot \left(\omega(L_{2T} + L_2) + \frac{1}{\omega C_2} \right)} = 0.005; \quad (2)$$

определение коэффициента уровня электромагнитной связи между обмотками трансформатора связи,

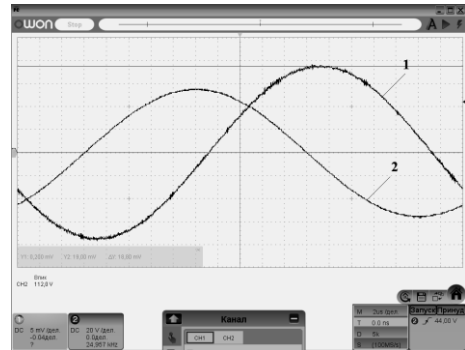
$$k_{12e} = \frac{R_2}{\omega \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}}} \cdot \frac{J_2}{J_1} = 0.093 \text{ (расчёт - 0.08)}. \quad (3)$$



а)



в)



б)

Рис.4. Второй контур,
 а) напряжение на вторичной обмотке трансформатора связи;
 б) напряжение на «выходной» индуктивности – 1, напряжение на ёмкости – 2;
 в) ток в «выходной» индуктивности – 1, напряжение – 2.

Результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов.

№	Позиции измерений и расчетов		Первый контур				Второй контур			
			Клеммы				Клеммы			
	Измеряемые и расчетные величины		1-2, E	1-3, C ₁	3-4, L _{1T}	2-4, J ₁	5-7, L _{2T}	5-6, L ₂	6-7, C ₂	7-7, J ₂
1	Напряж ение, В	Эксперимент	1,0	11,0	11,0	-	5,8	56,4	62,4	-
		Расчет	1,0	11,58 (5%)	11,58 (5%)	-	6,19 (7%)	70,8 (25%)	76,2 (22%)	-
2	Ток, А	Эксперимент	5,46	-	-	5,46	-	-	-	3,39
		Расчет	5,0 (9%)	-	-	5,0 (9%)	-	-	-	2,7 (25 %)
3	Мощно сть, ВА	Эксперимент	5,46	60,06	60,06	-	19,66	191,2	211,5	-
		Расчет	5,0 (9%)	58,25 (3%)	58,25 (3%)	-	16,7 (17%)	189,2 (0,2%)	205,7 (3%)	-

В строках «Расчёт» проценты (внизу) – это расхождения экспериментальных и расчётных данных.

Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности источника

$$\frac{U_{L_2} \cdot J_2}{E \cdot J_1} = \left\{ \begin{array}{l} 35.0 - \text{эксперимент} \\ 37.8 - \text{расчёт} \end{array} \right\},$$

(расхождение ~ 9%).

Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности первого контура:

$$\frac{U_{L_2} \cdot J_2}{U_{L_{1T}} \cdot J_1} = \left\{ \begin{array}{l} 3.2 - \text{эксперимент} \\ 3.3 - \text{расчёт} \end{array} \right\},$$

(расхождение ~ 3%).

Резюме:

1. В принятой схеме с достаточной строгостью соблюдаются резонансные условия в контурах (отклонения по частотам не превышают ~0.8%).

2. Отклонения результатов измерений в сравнении вычислениями можно объяснить отклонением реальных от расчётных рабочих частот в контурах и влиянием внешних электромагнитных полей (влияние поля «выходного» соленоида на электромагнитные процессы в трансформаторе связи).

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования согласуются с рекомендациями Н.Тесла, соответственно которым резонансная «накачка» вторичного «выходного» контура должна производиться достаточно малыми электрическими воздействиями со стороны первичного «входного» контура на частоте, равной собственным частотам контуров усилителя.

4. В целом, полученные результаты иллюстрируют реальные возможности многократного усиления мощности в принятой схеме резонансного преобразователя электромагнитной энергии, основанной на использовании идеи «трансформатора Тесла».

Выводы. Экспериментально определены характеристики резонансного усилителя мощности из двух индуктивно связанных последовательных активно-реактивных контуров, возбуждаемых источником гармонического напряжения.

Сравнение результатов измерений с расчётными данными показало достаточно хорошее их согласие, что свидетельствует о достоверности результатов проведенных исследований.

Экспериментально обоснована практическая действенность предложенного резонансного усилителя мощности.

В экспериментальной модели получено ~ 35-кратное усиление электрической мощности.

Дальнейшие перспективы – исследования, направленные на эффективное преобразование полученной реактивной мощности в «выходном» элементе предложенного усилителя в активную электрическую мощность для потребления в нагрузке любого назначения.

Проведенные экспериментальные исследования предложенной схемы резонансного усилителя электрической мощности представляют практический интерес для дальнейшего совершенствования настоящего предложения с выходом на разработки устройств преобразования выходной реактивной мощности при подключении активной нагрузки. Весьма перспективным в направлении проведенных исследований видится поиск условий наиболее эффективной действенности предложенной схемы резонансного усилителя электрической мощности и способов подключения нагрузки.

Информационные источники

1. Н.Тесла, Лекции и статьи. – М: Изд. Tesla Print. 2003.
2. В.А. Эткин, Теоретические основы бестопливной энергетики. © 2013 – Etkin V.A. Published in Canada by Altaspera Publishing & Literary Agency Inc.
3. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М: Наука. 2004. – 704 с.
4. Piter Lindemann. The Free Energy Secrets of Cold Electricity. – Publishing House: Clear Tech Inc. 2000.
5. Ацюковский В.А., Трансформатор Тесла. Жуковский: Изд.ООО «Петит». 2004. – 24с.

6. Ю.В.Батыгин, Е.А.Чаплыгин, Шиндерук С.А., Сабокарь О.С., Резонанс во вторичном контуре трансформатора Тесла при возбуждении гармоническим напряжением. // Вісник НТУ «ХП». Серія: математичне моделювання в техніці та технологіях. №30(1252).2017. – с.21-27.

7. Yu.V.Batygin, S.A. Shinderuk, S. Serikov, The quantitative indices of the induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer. // Danish Scientific Journal, №11-1, 2018, p. 72-79.

8. К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин, Теоретические основы электротехники. 4-е издание. Том 1. –СПб: «Питер». 2003. – с.317 – 318.

Батигін Ю.В., д.т.н., Шиндерук С.О., к.т.н., Сєріков Г.С., к.т.н., Єрьоміна О.Ф., к.т.н.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

РЕЗОНАНСНИЙ УСИЛИТЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цієї роботи було проведення експериментальних досліджень резонансного підсилювача потужності з двох індуктивно зв'язаних послідовних активно-реактивних контурів, порушуваних джерелом гармонійного напруги, аналіз результатів вимірювань і, в кінцевому підсумку, обґрунтування практичної дієвості запропонованого резонансного підсилювача потужності. Показано, що в прийнятій схемі з достатньою строгістю дотримуються резонансні умови в контурах (відхилення по частотах не перевищують ~ 0.8%). В цілому порівняння результатів вимірювань з розрахунковими даними показало досить гарну їх згоду. Незначні розбіжності можна пояснити відхиленням реальних робочих частот в контурах від розрахункових і впливом зовнішніх електромагнітних полів, що генеруються окремими компонентами резонансних контурів підсилювача. Висновки проведених досліджень узгоджуються з ре-комендації Н. Тесла, відповідно до яких резонансна «накачування» вторинного «вихідного» контуру повинна проводитися досить малими електричними діями з боку первинного «вхідного» контуру на частоті, що дорівнює власним частотам контурів підсилювача. Основним результатом проведених на експериментальній моделі випробувань є ~ 35-кратне збільшення реактивної електричної потужності.

Ключові слова: трансформатор Тесла, резонансний підсилювач електричної потужності, електромагнітні процеси, активне навантаження.

Yu. Batygin, Ph.D., S. Shynderuk, Ph.D., S. Serikov, Ph.D., E. Yeryomina, Ph.D.
Kharkov national automobile-highway university

RESONANT ELECTRIC POWER AMPLIFIER. EXPERIMENTAL RESEARCH

The purpose of this work was to conduct experimental studies of a resonant power amplifier from two inductively connected sequential active-reactive circuits excited by a harmonic voltage source, analyzing the measurement results and, ultimately, justifying the practical effectiveness of the proposed resonant power amplifier. It is shown that in the adopted scheme resonant conditions in the contours are observed with sufficient rigor (deviations in frequencies do not exceed ~ 0.8%). In general, a comparison of the measurement results with the calculated data showed good agreement between them. Minor discrepancies can be explained by the deviation of the real operating frequencies in the circuits from the calculated ones and the influence of external electromagnetic fields generated by individual components of the resonant circuits of the amplifier. The findings of the studies are consistent with the recommendations of N. Tesla, according to which the resonant "pumping" of the secondary "output" circuit should be made with sufficiently small electrical effects from the primary "input" circuit at a frequency equal to the own frequencies of the amplifier circuits. The main result of the tests carried out on the experimental model is ~ 35-fold amplification of reactive electric power.

Keywords: Tesla transformer, resonant amplifier of electrical power, electromagnetic processes, resistive load.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2018

УДК 621.394; 621.397

Баховський П.Ф., к.т.н., Євсюк М.М.

Луцький національний технічний університет

ОКРЕМІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Викладено окремі аспекти розвитку систем мобільного зв'язку з урахуванням перспективних технологій і рекомендацій МСЕ. Розглянуто переваги і недоліки деяких сценаріїв реалізації концепції VTF. Наведені основоположні зауваження щодо технічних характеристик впроваджених проектів побудови мереж мобільних телекомунікацій, з урахуванням потенційних можливостей впровадження будь-якого сценарію реалізації віртуальних технічних функцій з заданою якістю в мережах проекту SAE/EPS. Виділено дві концепції надання додаткових послуг в мережах мобільних телекомунікацій: вузлів послуг (Service nodes); «класичної» інтелектуальної мережі зв'язку IN.

Ключові слова: системи мобільного зв'язку, мережі мобільних телекомунікацій, проект SAE/EPS.

Постановка проблеми. В останні десятиліття велику поширеність у застосуванні отримали системи мобільних телекомунікацій. Зі зростанням платоспроможного попиту на послуги мереж мобільних телекомунікацій виникла необхідність розширення їх можливостей. Задовольнити цей попит стало можливим тільки за рахунок створення проекту мережі комутації, що складається з декількох вузлів, в межах якої будь-яка мобільна станція (MS) повинна мати доступ до послуг зв'язку, тобто MS повинна обслуговуватися будь-яким проектом мобільної мережі (MSC) в зоні обслуговування якого вона в даний момент часу знаходиться. Системний підхід означає, що рухома станція включається не в конкретний вузол комутації, а безпосередньо в систему мереж. Ця особливість значно ускладнює організацію абонентської бази даних, яка служить головною складовою в деяких сценаріях реалізації концепції VTF.

Складність проекту організації, моніторингу і управління абонентською базою даних пояснюється тим, що MS може вільно переміщатися, змінюючи зони обслуговування як базових станцій (BS), так і MSC.

Враховуючи це, при реалізації концепції VTF доцільним є організація централізованої абонентської бази даних для певної мережі, яка приймає участь в процесі надання відповідної віртуальної технічної функції. При цьому кожен вузол комутації рухомих станцій повинен мати абонентські дані тих MS, які в даний момент часу знаходяться в зоні його обслуговування. При переміщенні мобільної станції із зони обслуговування одного MSC в зону обслуговування іншого MSC, ці бази даних отримують необхідну інформацію з централізованої абонентської бази даних. Крім того, щоб уникнути несанкціонованого доступу абонентів до мережі і можливої крадіжки їх устаткування, необхідне забезпечення можливостей перевірки прав доступу до мережі (аутифікації) та ідентифікації устаткування. Збереження даних аутифікації та списку серійних номерів устаткування, також вимагає наявності єдиних для мережі баз даних, що зберігають відповідну інформацію.

Аналіз останніх досліджень. В мережах стандарту GSM та в його модифікаціях маршрутизація в режимі передачі даних здійснюється в режимі комутації каналів, що містить в собі певні недоліки. Річ у тому, що трафік Інтернет носить «пульсуючий» характер, оскільки дані передаються різкими сплесками, а не безперервним потоком. Такий тип трафіку передачі даних погано підходить для мереж з комутацією каналів, оскільки з'єднання існує навіть тоді, коли дані не передаються. До того ж це дуже дорого для кінцевого користувача, який оплачує час, а не обсяг переданих даних і робить неефективним використання можливостей радіоінтерфейсу оператора.

До незручностей також необхідно віднести тривалий час встановлення з'єднання (близько 20 с) і той факт, що з'єднання реалізуються в той час, коли якість передачі через радіоінтерфейс значна спадає. Через ці недоліки передача комутуваних пакетів по мережах мобільних телекомунікацій з комутацією каналів виявляється ненадійною і дорогою.

Вищезазначене в достатній мірі стримувало впровадження будь-якої концепції як VHS, так і VTF.

Враховуючи сказане, був розроблений новий стандарт, у якому усунути зазначені проблеми та впроваджене надання сервісів Інтернет у мережі мобільних телекомунікацій.

Одним з важливих кроків на шляху еволюції мереж *GSM*, стало впровадження технології пакетної передачі *GPRS (General Packet Radio Service)*.

В рамках вдосконаленого проекту *IMT-2000* були сформульовані нові вимоги до єдиної системи мобільних телекомунікацій.

В рамках *ETSI* було розглянуто п'ять базових концепцій проектів радіодоступу для систем мобільних телекомунікацій наступних поколінь. Дві технології з п'яти отримали найбільше визнання:

- 1) *WB-CDMA* – для парних частотних смуг;
- 2) *TD-CDMA* – для непарних смуг.

Європейська концепція проекту створення систем мобільних телекомунікацій третього покоління отримала назву *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)* [6, 7].

США, у свою чергу, представили чотири проекти, які звелися до таких варіантів:

- перший варіант заснований на подальшому вдосконаленні технології *TDMA/AMPS (DAMPS)*;

- другий варіант пропонує поступово нарощувати пропускну здатність системи *CDMA One*, переходячи від існуючої інфраструктури до технології *CDMA 2000*;

- третій варіант - дві пропозиції США, які практично повністю співпадають з пропозиціями від Європи (*UTRA*) і Японії (*WCDMA*) і в процесі подальшого розгляду злилися в єдиний проект.

На території Азіатсько-тихоокеанського регіону, віднесеного до району 3, розроблялися два різних проекти стандартів для *IMT-2000*: *CDMA I* та *CDMA II*, розроблені Асоціацією телекомунікаційних технологій Південної Кореї *TTA (Telecommunication Technology Association)*. У Китаї такий проект заснований на використанні комбінованого методу доступу і поєднанні технологій *TDMA* і *CDMA*.

В рамках проекту *IMT-2000* допустимі дві стратегії переходу від існуючих мереж мобільних телекомунікацій до мереж проекту *SAE/EPS*:

- 1) еволюційний;
- 2) революційний.

Переваги і недоліки цих двох стратегій детально розглянуті у ряді вітчизняних видань. При ухваленні світових стандартів для систем проекту *SAE/EPS* утворилися два табори, що оформилися у вигляді двох партнерських об'єднань:

- 1) *3GPP*;
- 2) *3GPP2*.

Ці партнерські об'єднання вперше дали опис задачі щодо впровадження концепцій надання віртуальних технічних функцій. Проте цей опис є загальним і не містить самого переліку функцій. На сьогоднішній день кожен з телекомунікаційних операторів складає термінологію, опису та реалізує проект самостійно.

Основний внесок партнерства *3GPP* в проект програми *IMT-2000* – гармонізація п'яти проектів:

- 1) *UTRA FDD*;
- 2) *WCDMA*;
- 3) *WCDMA MA*;
- 4) *WIMS*;
- 5) *CDMA II*.

Друге партнерське проектне об'єднання – *3GPP2* – є прихильником еволюційного розвитку двох напрямів в технологіях мобільних телекомунікацій 2G. Загальна картина гармонізації проектів стандартів систем мобільних телекомунікацій наступних поколінь показана на рис. 1.

Мета роботи. На думку багатьох експертів, впровадженню систем проекту *SAE/EPS* передуватиме дуже тривалий період їх сумісного існування з системами третього покоління. З урахуванням цього, для забезпечення глобального роумінгу, в якості протоколів для базових мереж в системах проекту *SAE/EPS* передбачається використовувати вдосконалені проекти протоколів мереж 2G та 3G (*GSM MAP* та *ANSI-41*), а в перспективі – протоколи, що базуються на *IP*-технологіях і технологіях інтелектуальних мереж *IN (Intelligent Network)* [5, 6]. Метою даної статті є аналітичне опрацювання впроваджених проектів побудови мереж мобільних телекомунікацій.

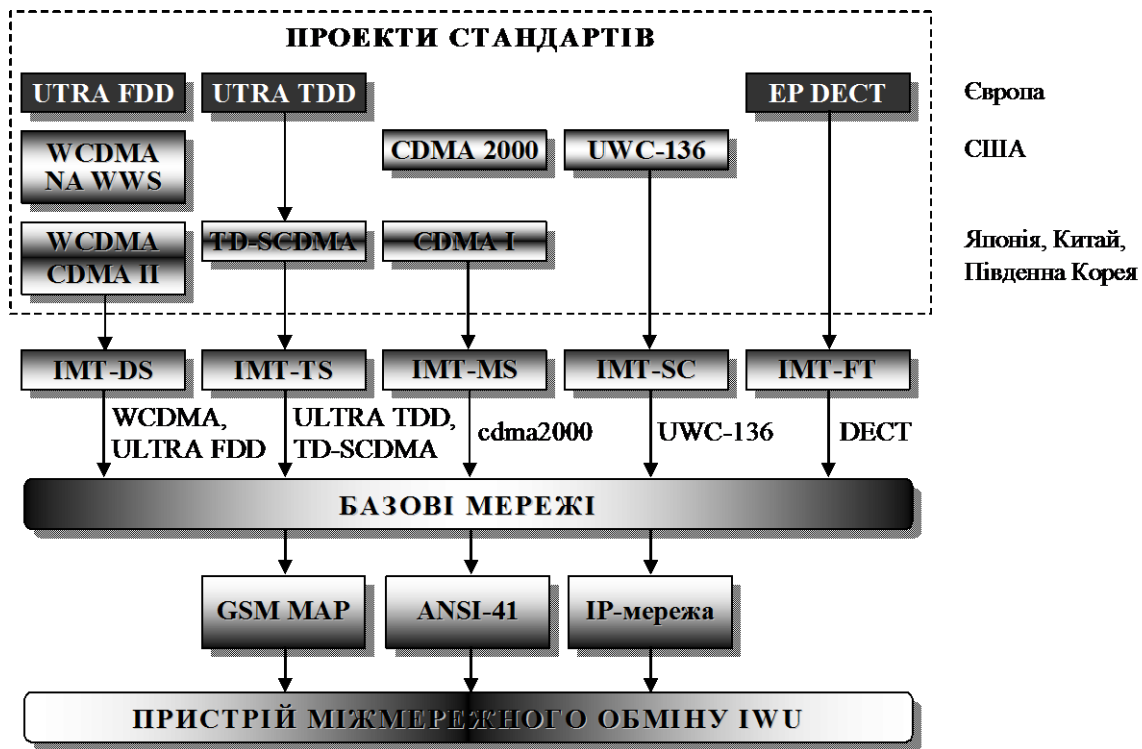


Рис. 1. Архітектура наземної мережі IMT-2000.

Вище наведені основоположні зауваження щодо технічних характеристик впроваджених проектів побудови мереж мобільних телекомунікацій свідчать про потенційну можливість впровадження будь-якого сценарію реалізації віртуальних технічних функцій з заданою якістю в мережах проекту SAE/EPs.

Проведемо аналіз технічних можливостей впровадження технологій VTF в мережах SAE/EPs.

Сервіси SAE/EPs дозволяють:

- проглядати вміст веб-ресурсів або відправляти електронні листи за допомогою телефонів і ноутбуків, що підтримують HSPA;
- використовувати HSPA-модеми замість DSL-модемів;
- пересилати відео та музику, використовуючи наявні 3G-телефони.

Проект SAE/EPs повинен стати наступним кроком в розвитку систем мобільних телекомунікацій. Стандарти GSM і WCDMA/HSPA інтегруються в SAE/EPs за допомогою стандартизованих інтерфейсів, що сполучають вузол SGSN (обслуговуючий вузол підтримки GPRS) і вдосконалену опорну мережу.

Оскільки існуюча концепція QoS для систем GSM і WCDMA відзначається достатнім рівнем складності, в проекті SAE/EPs намічена тенденція реалізації концепцію QoS, яка б об'єднала в собі простоту та гнучкість доступу з підтримкою зворотної сумісності. У проекті SAE/EPs пропонується використання концепції якості обслуговування, заснованої на класах. Вона передбачає просте та ефективне рішення для диференціювання різних пакетних послуг. Як висновок, можемо констатувати, що якісні показники реалізації концепції VTF, будуть забезпечені реалізацією концепції якості обслуговування, заснованої на класах.

Згідно рекомендаціям ITU-T, які розроблені в рамках проекту IMT-2000, мережа мобільних телекомунікацій проекту SAE/EPs складається з наступних підсистем:

- підсистема UIM (User Identity Module): забезпечує ідентифікацію користувача мережею, процедури безпечного доступу, як для абонента, так і для мережі, а також може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг. Функції UIM можуть розташовуватися на окремій від мобільного терміналу (MT) карті або можуть бути фізично інтегровані в MT;
- підсистема MT (Mobile Terminal): забезпечує можливість взаємодії UIM і RAN – мережі радіодоступу. Як і UIM, вона може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг;
- підсистема RAN (Radio Access Network): забезпечує можливість взаємодії MT і базової мережі (CN) через радіоділянку; може виконувати різні функції при виконанні додаткових

послуг;

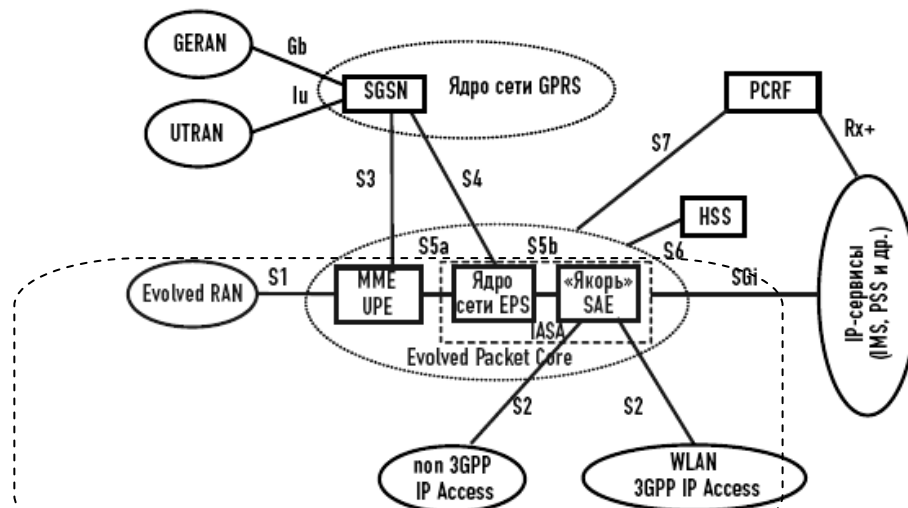
– підсистема *CN (Core Network)*: забезпечує основні функції процесу обслуговування викликів і підтримки мобільності користувача; може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг.

В основі підходу до реалізації послуг в проекті *SAE/EPS*, згідно рекомендаціям *ITU-T*, може бути покладена концепція інтелектуальної мережі [1]. Основною вимогою до архітектури інтелектуальної мережі є відділення функцій надання послуг від функцій комутації.

Кожна компонента мережі *SAE/EPS* бере участь у реалізації певної сукупності функціональних задач і за необхідності взаємодіє з іншими функціональними одиницями своєї або інших мереж.

Кожну з функціональних задач можна представити у вигляді набору дрібніших функцій. Під функцією слід розуміти сукупність дій компоненти мережі мобільних телекомунікацій в процесі реалізації послуги при одноразовому зверненні до неї. При цьому різні функції можуть бути розташовані в однойменних компонентах. Отримані функції можуть бути розташовані в різних компонентах як домашньої (підтримуючої), так і візитної мережі. Таким чином, виникає безліч варіантів (сценаріїв) організації структур функціональної побудови концепції *VTF*.

У функціональному відношенні ядро мережі *SAE* включає чотири ключові компоненти. Модуль управління мобільністю *MME (Mobility Management Entity)* забезпечує зберігання службової інформації про абонента і управління нею, генерацію часових ідентифікаційних даних, авторизацію термінальних пристроїв в наземних мережах мобільного зв'язку і загальне управління мобільністю. Модуль управління абонентом *UPE (User Plane Entity)* відповідає за термінацію низхідного з'єднання, шифрування даних, маршрутизацію і пересилку пакетів. «Якір» *3GPP* відіграє роль своєрідного шлюзу між мережами *2G/3G* і *LTE*. Нарешті, функції «якоря» *SAE* аналогічні функціям попереднього компоненту, але служать для підтримки безперервності сервісу при переміщенні абонента між мережами, відповідними і не відповідними специфікаціям *3GPP*. Як наслідок, це свідчить про потенційну можливість реалізації пропонованої концепції *VTF*. Узагальнена схема архітектури *SAE/EPS* показана на рис. 2.



Функціональні компоненти,
які вперше введені в архітектуру
проекту *SAE/EPS*

Рис. 2. Основні компоненти архітектури проекту *SAE/EPS*.

На рис.2 прийняті такі позначення: Gb, lu, SGI, Rx+, S1...S7 – інтерфейси; HSS – Home Subscribe Server; SGSN – Serving GPRS Support Node; PCRF – Policy and Charging Rules Function. 1 – *MME UPE*; 2 – Ядро мережі *EPS*; 3 – «Якір» *SAE*.

Як видно з рисунку, функціональні елементи можна фізично суміщати або розподіляти по мережі – все залежить від особливостей вживаних продуктів і самої мережі. Наприклад, «якір» *3GPP* допустимо розташовувати разом з модулем управління абонентом, хоча це не є обов'язковою вимогою. Так само модулі *MME* і *UPE* можуть бути суміщені або знаходитися в різних вузлах мережі.

Принципова відмінність мереж мобільних телекомунікацій четвертого покоління від мереж мобільного зв'язку попередніх поколінь – можливість забезпечити велику швидкість передачі інформації на наступних радіоділянках:

- 2048 кБіт/с – для роботи в офісі;
- 384 кБіт/с – для пішоходів;
- 144 кБіт/с – для рухомих абонентів.

Вищі швидкості передачі забезпечують користувачам цих мереж більший об'єм послуг. Перш за все це стосується мобільного доступу до ресурсів мережі Інтернет із задовольняючою споживача швидкістю. Мережі мобільних телекомунікацій проекту *SAE/EPS* дозволяють передавати і отримувати великі обсяги даних, відеозображення, музичні файли та іншу мультимедійну інформацію в режимі реального часу. При цьому послуги мереж попередніх поколінь, що вже зарекомендували себе, повинні активно застосовуватися і в мережах проекту *SAE/EPS*, тим самим підтверджуючи принципову необхідність впровадження та розширення концепції *VTF*. До цих послуг, в рамках концепції *VTF*, в першу чергу, потрібно віднести послугу обміну короткими повідомленнями *SMS (Short Message Service)*.

Як альтернатива послугам *SMS* та *EMS (Enhanced Message Service)*, що вже зарекомендували себе, прийшла послуга мультимедійних повідомлень *MMS (Multimedia Message Service)*.

Велику популярність в мобільних телекомунікаціях отримали послуги, що надаються сучасними центрами контакту. Впровадження центрів контакту – це один з численних способів ефективно організувати взаємодію зі своїми клієнтами, коли в останніх виникають які-небудь питання або проблеми: це їх головна функція при реалізації концепції *VTF*.

Основною задачею кожного оператора мереж *SAE/EPS* є надання будь-якому абоненту вище описаного звичного набору послуг при знаходженні його в роумінгу, тобто забезпечити 100% підтримку звичних функцій не дивлячись на той факт, що такі функції будуть «віртуальними», тобто – невластивими для візитної мережі.

Кількість і різноманітність послуг, які потенційно можуть бути реалізовані з використанням подібних систем, дуже велика, що представляється дуже привабливим як для абонентів мобільних телекомунікацій, так і для мобільних операторів.

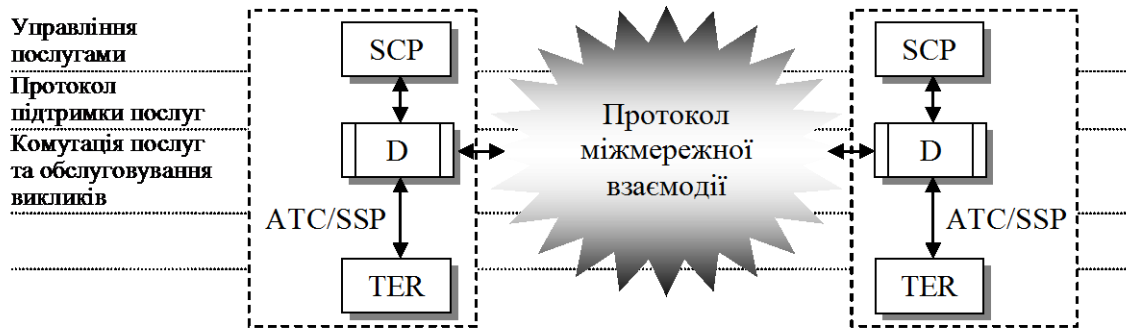
Матеріали досліджень. В даний час можна виділити дві концепції надання додаткових послуг в мережах мобільних телекомунікацій:

- 1) вузлів послуг (*Service nodes*);
- 2) «класичної» інтелектуальної мережі зв'язку *IN*.

Перша застосовується для організації вище перелічених послуг: *SMS, EMS, MMS*, послуг центрів контакту і т.д. Головне ж значення другої концепції для мереж мобільних телекомунікацій не в списках послуг *CS (Capability set)*, а в основній ідеї, що полягає в тому, щоб відокремити процеси традиційної комутації від процедур надання нових послуг. Актуальність цієї ідеї робить її привабливою для мереж мобільних телекомунікацій проекту *SAE/EPS*, орієнтованих на надання абоненту додаткових сервісів.

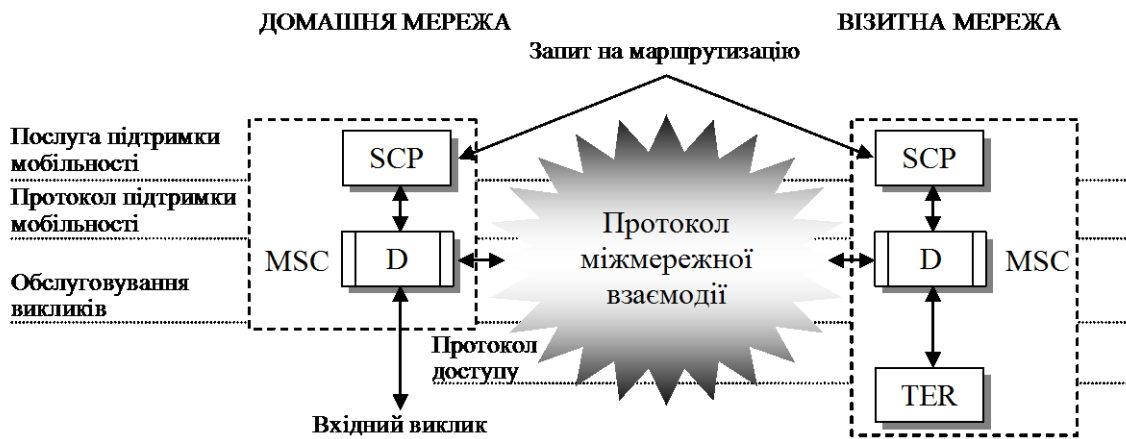
Архітектура *IN* і архітектура мереж мобільних телекомунікацій дуже схожі (рис. 3). Проте мережі мобільних телекомунікацій не здатні адекватно забезпечувати принцип незалежності від послуг, властивий концепції *IN* [5,6]. Враховуючи вищесказане, оператори мобільних телекомунікацій прагнуть оволодіти перевагами, пропонованими концепцією *IN*. Реалізація ж самої послуги в *IN* відбувається за допомогою виконання певної послідовності функцій. Під функцією слід розуміти сукупність дій компоненти мережі мобільних телекомунікацій в процесі реалізації послуги при одноразовому зверненні до неї (надходженні заявки). При цьому в процесі реалізації послуги, кожна компонента може виконувати одну або більше функцій. Однією з головних переваг, пропонованих мережами мобільних

телекомунікацій, є можливість вільного переміщення абонента зі своєї зони в ту або іншу із зон, що обслуговуються мережами мобільних телекомунікацій інших операторів. При цьому абонент хотів би зберегти свій персональний набір (профіль) послуг і в інших мережах (мати можливість роумінгу послуг). Але на відміну від дротяних мереж, в комутаторах мобільних телекомунікацій тригерні точки і профіль послуг не представляються у вигляді статичних даних, а визначаються при реєстрації. Можливості домашньої і візитної мереж можуть виявитися різними, що позначиться на переліку і на характеристиках послуг, які зможуть бути запропоновані користувачу, що перемістився в візитну мережу.



TER – Абонентський термінал

а)



TER – Абонентський термінал

б)

Рис. 3. Архітектура IN (а) та мережах мобільних телекомунікацій (б)

На рис. 4 показана абстрактна модель з трьома системами мобільних телекомунікацій четвертого покоління, що належать різним операторам.

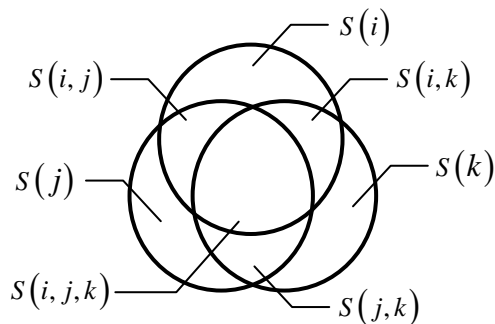


Рис. 4. Модель покриття послугами в мережах проекту SAE/EPS

Кожна з трьох систем проекту *SAE/EPS*, показаних на рис. 4, має свій власний набір послуг: $S(i)$, $S(j)$, $S(k)$, які показані кругами. Перетини цих кругів – це послуги, що є однаковими для цих мереж. Зі збільшенням числа систем проекту *SAE/EPS* зменшується загальна платформа послуг $S(i, j, k)$. Відповідно до нормативів *ITU-T ETS1*, *3GPP* в мережах мобільних телекомунікацій проекту *SAE/EPS* для забезпечення можливості своїм абонентам користуватися функціями домашньої мережі, знаходячись за її межами, тобто в візитній мережі, була введена вже раніше зазначена концепція *VHS*, перелік функцій якої був достатньо обмеженим та носив декларативний характер. Ступінь, з якою пропонується концепція *VTF* може відповідати фактичним потребам абонентів, буде надзвичайно великою і буде залежати лише від ступеня співпраці між операторами, від їх технічних можливостей, сумісності устаткування користувачів і т. д. Крім того, системи проекту *SAE/EPS*, які будуть пропонувати своїм абонентам послугу глобального роумінгу, повинні підтримувати *VTF*, якщо в цих системах з самого початку закладені можливості абонентського сервісу аналогічного сервісу *VHS*.

В процесі реалізації концепції *VTF* за допомогою апаратних і програмних засобів виконується певна множина послуг. Як вже було відмічено раніше, в процесі реалізації послуги, кожна компонента може виконувати одну або більше функцій. Склад функцій залежить від множини чинників, наприклад, від самої послуги, дій абонентів і т.д. Отримані функції можуть бути розташовані в різних компонентах як домашньої (підтримуючої), так і візитної мережі. При цьому різні функції можуть бути розташовані в однойменних компонентах. Таким чином, виникає множина варіантів (сценаріїв) організації структурно-функціональної побудови концепції *VTF*. Оскільки існують різні варіанти структурно-функціональної побудови концепції *VTF*, то на етапі її проектування виникає задача вибору того або іншого варіанту – сценарію реалізації концепції.

Для вирішення поставленої задачі необхідно володіти інструментом, що дозволяє оцінювати варіанти побудови концепції *VTF*. Але, як відмічено в наукових публікаціях, присвячених даній тематиці, частіше приводяться тільки самі сценарії реалізації подібних концепцій і не робиться їх аналіз. У деяких інших роботах у якості критерію оцінки варіантів побудови виступає обсяг сигнальної інформації, що циркулює між компонентами мереж мобільних телекомунікацій. При цьому у меншій мірі приділяється увага оцінці впливу вибору того або іншого сценарію на якість реалізації послуг, а значить, і на ступінь задоволення цими послугами кінцевого користувача.

Висновки. Розглянуто стан та перспективи розвитку систем мобільного зв'язку. Наведено визначення концепцій, окремих сценаріїв їх реалізації. Показано абстрактну модель з трьома системами мобільного зв'язку четвертого покоління, що належать різним операторам. З урахуванням результатів попередніх досліджень зроблено висновок, що при реалізації концепцій доцільним є організація централізованої абонентської бази даних для певної мережі, яка приймає участь в процесі надання віртуальної технічної функції.

Сформована загальна картина гармонізації стандартів мобільного зв'язку наступних поколінь. Поставлено загальну мету дослідження та часткові задачі, які необхідно вирішувати для подальшого опрацювання концепції розвитку телекомунікаційних мереж мобільного зв'язку.

Інформаційні джерела:

1. Andrade R., Logrippo L. MoRaR: A Pattern Language for Mobility and Radio Resource Management // [Електронний ресурс]: http://www.site.uottawa.ca/~luigi/papers/06_andrade_logrippo.pdf.
2. FY 1998 National Communications System // [Електронний ресурс]: http://www.ncs.gov/library/reports/ncs_fy1998.pdf.
3. IMT-2000 references to release 1999 of GSM evolved UMTS core network with UTRAN access network // ITU-T Recommendation Q.I741.1, 2002.
4. IMT-2000 references to release 4 of GSM evolved UMTS core network with UTRAN access network // ITU-T Recommendation Q.I741.2, 2002.
5. Internetwork signalling requirements for IMT-2000 capability set 1 // ITU-T Recommendation Q.I751, 2000.
6. ITU-T recommendation F.115 [1995], Service objectives and princi.
7. ITU-T recommendation M.816-1 (1997), Framework for services supported on Internationisi Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).

П.Ф. Баховский, Н.Н. Евсюк

Луцкий национальный технический университет

ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Изложены отдельные аспекты развития систем мобильной связи с учетом перспективных технологий и рекомендаций МСЭ. Рассмотрены преимущества и недостатки некоторых сценариев реализации концепции VTF. Приведены основополагающие замечания относительно технических характеристик внедренных проектов построения сетей мобильных телекоммуникаций, с учетом потенциальных возможностей внедрения любого сценария реализации виртуальных технических функций по заданным качеством в сетях проекта SAE / EPS. Выделены две концепции предоставления дополнительных услуг в сетях мобильных телекоммуникаций: узел услуг (Service nodes); «классической» интеллектуальной сети связи IN.

Ключевые слова: системы мобильной связи, сети мобильных телекоммуникаций, проект SAE / EPS.

P. Bakhovskiy, M. Yevsiuk

Lutsk National Technical University

SPECIFIC ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MOBILE TELECOMMUNICATIONS NETWORK

Some aspects of the development of mobile communication systems are considered in the light of advanced technologies and recommendations of ITU. The advantages and disadvantages of some scenarios for implementing the concept of VTF are considered. The basic comments on the technical characteristics of the implemented projects for the construction of networks of mobile telecommunications are given, taking into account the potential possibilities of implementing any scenario for the implementation of virtual technical functions with the given quality in the networks of the SAE / EPS project. Two concepts of provision of additional services in the networks of mobile telecommunications are highlighted: service nodes (Service nodes); "Classical" intelligent communication network IN.

Keywords: mobile communication systems, mobile telecommunication networks, SAE / EPS project.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2018

УДК 621.9

Верба І. І., к.т.н., Даниленко О. В., к.т.н.

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського“

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена проблемам, які виникають у разі необхідності обґрунтованого вибору нових конструкційних матеріалів або придбанні на ринку готових мехатронних вузлів чи обладнання в цілому, в яких застосовані ці матеріали. Для цього конструктор повинен орієнтуватися у властивостях і у технологіях застосування нових, переважно полімер-композитних, матеріалів, бути здатним здійснити їхнє порівняльне оцінювання (на якісному рівні). Попри наявність чималої кількості інформаційних джерел та досліджень (на рівні дисертацій на присудження наукових ступенів) з вказаної тематики й явну доцільність та технічний ефект використання нових матеріалів, інформація про наслідки їхнього застосування розпорошена й не є чітко структурованою. Стандартні пакети прикладних програм (зокрема й такі популярні, як ANSYS, NASTRAN та ін.) не адаптовані для розрахунку динамічних характеристик несучих систем, тим більше з врахуванням обраного полімер-мінерального матеріалу, а існуючі розробки у цьому напрямі не є всеохоплюючими та універсальними. Отож задача системного аналізу й прийняття рішення з обґрунтованого вибору як матеріалу, так і технології його застосування, є на часі, як і розробка відповідних методик розрахунку отриманих показників працездатності.

Ключові слова: конструкційні матеріали, мехатронні вузли, нові матеріали, порівняльне оцінювання, системний аналіз, вибір матеріалів, технології застосування.

Вступ. Для будь-якого високотехнологічного машинобудівного підприємства необхідною запорукою успішності є постійне вдосконалення процесів і технологій та пильна увага до інновацій з метою поліпшення якості власної продукції.

Традиційні матеріали (чавуни та сталі) не можуть забезпечити вимоги до вібростійкості й теплової стабільності базових деталей верстатів, деталі рухомих з'єднань з металів (як чорних, так і кольорових) і сплавів не задовольняють вимоги, які висувають до машин різного призначення, зокрема сільськогосподарських (наприклад, комбайнів), що характеризуються напруженими умовами експлуатації: наявність вологи, абразивного забруднення, температурних коливань, знакозмінних навантажень, динамічних напружень.

Як для металорізальних верстатів і іншого технологічного обладнання, так і для сільськогосподарської техніки придатним є шлях вдосконалення застосовуваних матеріалів: покращення експлуатаційних якостей традиційних матеріалів і технологічних процесів їхнього використання або використання сучасних принципово нових матеріалів, наприклад, мінерал-полімерних композитів, але вимоги до них значно різняться. Наприклад, у сільськогосподарській техніці застосовують антифрикційний полімерний композиційний матеріал сухого тертя Оксафен, в основі якого є суміш полімерних смол та синтетичних волокон. Трибологічні властивості Оксафена перевищують властивості більшості полімерних композитів, які використовують у машинобудуванні (вуглепластиків, текстоліту та ін.) [19], але, наприклад, у верстатобудуванні його практично не застосовують, що зайвий раз доводить необхідність враховувати вимоги до показників працездатності машин та умови їхньої експлуатації.

Постановка проблеми. Для сучасного металообробного обладнання є важливим виконання вимог точності обробки на ньому (тобто тривалості точності і вібросталості самого верстата, забезпечення його жорсткості, параметричної надійності, гнучкості – навіть у противагу продуктивності, тощо). Проблема забезпечення надійності є актуальною хоча б через те, що старіння парку машин відбувається швидше, ніж технічне переозброєння шляхом модернізації.

Характерно застосування високошвидкісних приводів (15000-36000 об/хв та вище), комбінованих приводів та мотор-шпинделів, лінійних двигунів з швидкостями лінійних переміщень 120-360 м/хв (навіть до 500 м/хв – двигуни 1FN3 фірми Siemens). Значно зросли вимоги до часу й точності позиціонування виконавчих органів. Все це вимагає компоновок верстатів, які забезпечують суттєве зниження моментів інерції, і відповідної оптимізації динамічної системи верстату, компоновок відкритої архітектури (із здатністю до

реконфігурації), які дозволяють змінювати функціональність верстату, тобто забезпечують гнучкість. Цілком логічно, що зросли вимоги й до конструкційних матеріалів та потреба у нових матеріалах з легких сплавів з широким спектром властивостей, у неметалевих і композиційних матеріалах.

Вдосконалення в області матеріалів з метою покращення їхніх експлуатаційних якостей принципово можливо двома шляхами:

- покращення експлуатаційних якостей традиційних матеріалів і технологічних процесів їхнього використання;
- створення принципово нових матеріалів (наприклад, конструкційна кераміка, композиційні матеріали на основі різних наповнювачів чи високомодульних волокон тощо).

Для композиційних матеріалів властиві висока питома міцність, жорсткість, зносостійкість, стабільність розмірів, мала вага, але одночасно висока вартість (з огляду на наукоємність виробництва і умову наявності спеціального вартісного обладнання), анізотропія властивостей тощо. Висока вартість, наприклад, стримує використання композитних матеріалів там, де потрібні значні обсяги матеріалів, зокрема у будівництві. Проте розробка нових композитів на основі багаточисельних можливих компонентів створює спокусливі перспективи. Наприклад, пропонується [14] використовувати стиснений газ у якості твердого наповнювача, що дозволить створити перспективний напрочуд легкий конструкційний та будівельний матеріал. Композитні матеріали мають широке розповсюдження при ремонті й відновленні технічних об'єктів.

Застосування подібних матеріалів є непростю технічною задачею й до того ж потребує економічного обґрунтування. У промислово розвинених країнах реалізуються національні програми з проблем застосування перспективних конструкційних матеріалів у верстатобудуванні.

Аналіз досліджень та рекомендацій. Підвищення точності верстатів без суттєвих конструкційних змін зумовлює зростання трудомісткості їхнього виготовлення чи оновлення, особливо в разі вимоги довготривалої мікрометричної точності та якщо наявні специфічні складальні операції, передбачені операції підгонки, наприклад, для напрямних ковзання (за деякими джерелами [4], трудомісткість пригоночних робіт у 1988 р. на підприємствах Мінстанкопрому становила 24 % від загальної трудомісткості складання верстатів, а 68 % від неї припадало на складання базових деталей з напрямними ковзання). Тому вдосконалення технології трудомістких та малопродуктивних методів обробки, зокрема, виготовлення базових деталей верстатів, має велике значення. Іншим шляхом є конструктивні зміни (наприклад, заміна тих же напрямних ковзання рейковими напрямними кочення, якщо це дозволяють компоновка, конструктивне виконання, габарити, технічні характеристики верстату), вибір сучасних матеріалів і відповідних технологій.

Одним з основних параметрів, які визначають точність і, до речі, параметричну надійність металообробного обладнання, є жорсткість технологічної системи верстат-приспособлення-інструмент-деталь, підвищення якої є головною задачею забезпечення якісної механічної обробки.

Жорсткість верстату є суттєвим фактором загальної жорсткості технологічної системи, визначає точність форми та розмірів і якість поверхні оброблюваних на верстаті деталей, а також вібросталість процесу різання і, відповідно, граничні режими різання та продуктивність верстату. Базові деталі й елементи верстатного обладнання повинні мати жорсткість, яка характеризується деформацією до 0,03 мм/м від навантаження власною вагою та вагою додаткового обладнання, та точністю поверхонь встановлення біля 0,001 мм/0,2 м довжини поверхні. Звісно, кожен з вузлів верстату вносить у загальну жорсткість системи свою частку, яка при тому не лишається постійною протягом експлуатації верстату. Наприклад, жорсткість підшипника змінюється при обертанні та деформаціях згину його кілець силами, які діють з боку тіл кочення, наслідком чого є так звана структурна вібрація підшипника. Частка шпindelного вузла в загальному балансі точності обробки в процесі експлуатації верстата зростає до 80 % через зношення деталей вузла, що перебувають у контакті, зокрема, на думку багатьох дослідників, через фретинг-корозійне зношення контактуючих поверхонь підшипникових з'єднань [3, 20].

Фретинг-корозія, як відомо, є руйнацією спряжених поверхонь деталей, які номінально є нерухомими одна відносно одної, внаслідок відносних зворотно-поступальних переміщень з дуже малою амплітудою та високою частотою. Існують і конструктивні особливості, що сприяють процесу фретинг-корозії, наприклад, посадки підшипників із зазором, які значно збільшують пружні коливання зовнішнього кільця [1], сприяють зношенню з'єднання „зовнішнє кільце-посадковий отвір корпусу“.

З цієї точки зору доцільними є керамічні підшипники, тобто знову постає проблема застосування нових матеріалів.

Для відновлення зношених деталей застосовують технологічні процеси, які ґрунтуються на використанні наноструктурованих покриттів із сучасних полімерних матеріалів. При тому це стосується не лише верстатів, а й тракторів та інших сільськогосподарських машин, автомобілів тощо. Однак застосування сучасних матеріалів при ремонті зношених деталей, зокрема підшипників кочення, зумовлює необхідність забезпечити точність не лише відновлюваного з'єднання, а й точність ланок, які замикають розмірний ланцюг.

Отже треба розрізняти кілька напрямків, для кожного з яких має суттєве значення обґрунтований вибір матеріалу і при тому мова йде про нові сучасні матеріали з якісно новими властивостями. Отож сучасні матеріали застосовують:

- при створенні нового обладнання для несучих систем верстату і корпусних деталей, оскільки традиційні для верстатобудування матеріали не задовольняють вимоги у першу чергу до жорсткості деталей та вузлів, яка, як відомо, не залежить від міцності, та до здатності демпфірувати коливання і теплової стабільності;
- у складі покупних деталей та вузлів, які застосовують як для нових верстатів, так і для оновлення, реконфігурації і ремонту;
- при оновленні й ремонті металообробного обладнання, яке знаходиться в експлуатації і є морально й фізично застарілим, тобто не дозволяє забезпечити високі вимоги за точністю й якістю механічної обробки.

В усіх випадках необхідно знати властивості матеріалів, рекомендації щодо сфери застосування, технологічні процеси, переваги, які отримуємо, й проблеми, з якими можемо зустрітись. Наприклад, технологічні закономірності формування відхилень форми й взаємного розташування напрямних елементів поверхонь базових деталей верстата, що виготовлені з полімерних матеріалів або виникнення напружено-деформованого стану внаслідок усадки полімерного шару, що зумовлює відхилення форми у поздовжньому перерізі [4].

Викладення основного матеріалу. А власне про які саме неметалеві матеріали йдеться?

Інтерес до полімерних напрямних у Радянському Союзі виник у 70-80 р. р. минулого сторіччя, коли були проведені відповідні дослідження, зокрема у ЕНИМСі під керівництвом Д.М. Решетова.

Одним з перших неметалевих матеріалів для базових деталей з'явився залізобетон, але зараз його використовують обмежено у важких верстатах: зменшує вібрації, металоемність знижується на 50-60 %, одночасно збільшується товщина стінок для збереження жорсткості (при цьому вага не збільшується понад норму, деформація конструкції зменшується на 35-45 % порівняно із чавунною за однакових навантажень [15]).

Останніми десятиріччями спостерігається зростаюче зацікавлення полімербетоном та аналогічними матеріалами як можливою заміною металу для виготовлення станин верстатів та корпусних деталей.

Полімербетон (мінерал-полімерний композит [13]) розроблювався як альтернатива сталевим, чавунним, бетонним та залізобетонним станинам металообробного обладнання, є багатокомпонентним, принципово відрізняється від традиційного цементно-бетону синтетичним в'язким матеріалом (епоксидні, акрилатні, поліефірні смоли тощо), який твердішає у холодному стані. Епоксидні смоли в порівнянні з акрилатними та поліефірними мають меншу об'ємну усадку (не вище 0,03 % [11]) при полімеризації та довший час перед початком полімеризації. Полімербетон містить також наповнювач з різного розміру силікатних зерен твердих порід (базальт, кварц, граніт), можуть додаватись немінеральні речовини, такі як сталь чи скло (у формі дрібнодисперсного порошку), або речовини у вигляді волокон. Чітких критеріїв з оптимізації вмісту різних компонентів немає. Областю використання є станини й стійки прецизійних верстатів, великі виливки простої конфігурації, корпуси коробок передач та шпindelних бабок, деталі вимірювальної та спеціальної техніки (замінює натуральний граніт з одночасним зниженням трудомісткості механічної обробки). На форму відливок майже немає обмежень, відливки можуть бути склеєні між собою. Забезпечує [11]: збільшення демпфіруючої здатності (логарифмічний декремент згасання коливань вдвічі вищий, ніж у залізобетону, в 5 разів, ніж у чавуна, у 10 разів, ніж у сталі, корпусні деталі мають покращені акустичні характеристики) і жорсткості (завдяки високому, порівняно з бетоном, модулю пружності – ≈ 40 кН/мм²), зменшення теплопровідності при збільшеній теплоємності, вище розмірна точність (для відливок – 0,1-0,3 мм/1000 мм) та якість поверхні, навіть можна відмовитись від деяких операцій механічної обробки (за умови високої точності і якості поверхні форм), антикорозійність (зумовлює

економію корозійностійкої сталі). Станини з полімербетону мають значно меншу вагу (0,03-5,0 т порівняно з 0,1-200 т станин із сталі чи чавуну), але стінки в середньому товщі у 3-4 рази порівняно із сталевими і чавунними відлитими станинами (80-1000 мм проти 5-300 мм). Додатковою перевагою є можливість завдяки холодному литтю інтегрувати в несучу систему значну кількість датчиків та комунікацій, наприклад, таких, як система труб для підтримання стабільної температури станини, канали для кабелів та рідин, датчики напружень в станині та інше.

Деталі, що вмонтовані в станину під час заливки (різбові та транспортні анкери, труби, датчики, баки) повинні бути точно закріплені на формі для лиття та не перешкоджати потоку рідкого матеріалу або виходу повітря з форми. Мінімальна товщина стінки має перевищувати 5-8 діаметрів найбільшої фракції наповнювача. Вагу можна зменшити встановленням легких або пустотілих тіл всередину відливки.

Необхідно брати до уваги коефіцієнти теплового розширення різних матеріалів деталей, що знаходяться у відливці, оскільки при значному тепловому розширенні можливе руйнування відливки.

Як недолік, можна назвати зростання вартості на 10-15 % (особливо за ускладнення конструкції станини) за рахунок значної кількості закладених елементів і вартості виготовлення модельного оснащення, але за серійного виробництва цей недолік втрачає актуальність. До того ж полімербетон може бути непридатним в умовах потреби значного тепловідведення (сталій при температурах до 100°C), є чутливим до органічних розчинників (типу ацетону), а залишки від полімербетонного литва не утилізуються.

Полімербетон застосовують для виготовлення прецизійних верстатів токарної й шліфувальної груп, а також для важких верстатів фрезерно-розточувальної групи. Його використано, наприклад, у токарних верстатах фірм Emag, Index (Німеччина), Oerlikon-Boehring (Швейцарія), Etnaul-Tojota (Франція-Японія), Manurhin (Франція), у фрезерних – Hermle (Німеччина), у шліфувальних – Studer (Швейцарія), Elb-Schliff (Німеччина), у багатоцільових – Turchan (США) та інш..

Різновидом полімербетону є високонаповнений композиційний матеріал синтегран (аналоги – гранітан, мікрограніт) [2, 11, 12, 13, 16], що містить часточки й порошок (менше за 60 мкм) граніту й не більш за 10-11 % полімерного в'язучого: велика частка в'язучого (взагалі може складати 7-25 %) зумовлює зниження модулю пружності та теплостійкості, збільшує схильність до жолоблення. За фізико-механічними і експлуатаційними властивостями аналогічний до натурального граніту, відрізняється технологічно – можливістю формувати деталі складної форми. Фізико-хімічні й фізико-механічні та технологічні властивості епоксидного в'язучого наведені [11]. Вироби із синтеграну (базові деталі практично всіх типів верстатів) виготовляють за безвідходною технологією віброущільненням у формах, практично з нульовою усадкою.

Використання 1 т синтеграну замінює 0,8-0,9 т чавуну, дозволяє зекономити 2 т ливарних пісків, 0,5 тис кВт×год електроенергії, знизити трудомісткість виготовлення деталей на 20-30 людино×год [5].

Загалом вивченню статичних і динамічних характеристик станин верстатів, виготовлених з мінерал-полімерних композитів присвячена певна кількість наукових робіт, але низка теоретичних та практичних питань їхньої працездатності потребує докладнішого вивчення, структурування, узагальнення і розробки практичних технологічних та експлуатаційних рекомендацій до використання.

Із синтеграну виготовляють також ріжучі інструменти (фрези, різці, пили, напилки тощо), елементи пристосувань та спеціальне оснащення, вимірювальні інструменти та відповідальні деталі вимірювальних комплексів і прецизійного обладнання (зокрема верстатів з точністю обробки 0,001 мкм), елементи будівельних конструкцій, вироби військового призначення, сантехнічні й побутові вироби, засоби екологічного захисту, тощо. При виробництві високоточного обладнання у таких країнах, як США, Швейцарія, Франція, Німеччина, Велика Британія, Японія застосовують матеріали, що є аналогами синтеграну.

На даний момент відпрацьовані технології виготовлення виробів із синтеграну та конструкції оснащення, є конструкторська документація. Існує багаторічний досвід експлуатації виробів.

Літєві смоли DWH (фірма «DIAMANT», Німеччина) [10] містять понад 80 % металу (чавун/сталь, алюміній) або мінеральних наповнювачів у суміші із спеціальними епоксидними смолами. Використовують для відновлення пошкоджених або зношених відливок та деталей машин, валів, підшипників, турбін та ін., виготовлення інструментів, моделей, пристосувань тощо, тонкого юстирувального ковзного покриття для напрямних супортів, стоек, повзунів і т. д., що тривалий час працюють із значним навантаженням (Діамант DWH-745: точна форма без додаткової обробки, коефіцієнт тертя < 0,05 мкм (близький до тефлону), зносостійкість – < 0,003 мм/100 км

(як у твердій сталі), добре демпфірування). Придатні для усунення каверн у відливках, надійного з'єднання будь-яких металів, скла, бетону, деревини, кераміки і т. д. Може бути рідким чи у вигляді пасти. Для отвердіння не потрібні ні спеціальні умови (тиск, температура), ні спеціальне устаткування. Придатні для подальшої інструментальної обробки. Матеріал теплостійкий, холоднотвердіючий, не має усадки, не поглинає вологу

Волокнисті композиційні матеріали (вугле-, склопластики тощо) застосовують у рухомих вузлах – столи, бабки, салазки, шпинделі деяких верстатів, можуть бути у комбінації – станина з полімербетону, а стіл з волокнистого пластику. Деталі міцні й легкі: вага, наприклад, шпинделя з вуглепластику зменшується у 6 разів. Зменшення маси і, відповідно, моментів інерції дає можливість підвищити швидкість робочих рухів. Забезпечується висока зносостійкість, малий коефіцієнт теплового розширення, є можливість вплинути на властивості матеріалу розташуванням волокон. Недоліком є зменшення модуля пружності порівняно зі сталлю, що накладає певні конструктивні обмеження.

Але вуглепластики можна використати не лише для виготовлення корпусних деталей: наприклад, розроблені конструкції двошарових підшипників ковзання з металу та антифрикційного вуглепластика і змащуванням водою для гідротурбін, відцентрових насосів тощо [17], які ще й забезпечують амортизаційні властивості.

Склопластики мають високу міцність, легко оброблюються, сталі до теплових і знакозмінних навантажень, корозійностійкі. Склотекстоліти (склопластики на основі тканин для армування) широко застосовують у авіації, суднобудуванні, автомобілебудуванні).

Конструкційна кераміка на основі карбиду кремнію і бору, нітриду кремнію (з легуючими складовими), оксиду алюмінію є твердим, міцним (за температур вище 1000°C є міцнішою за будь-який сплав), зносостійким, антикорозійним матеріалом, з малим коефіцієнтом лінійного розширення та сталим до перепадів температури, з низьким коефіцієнтом тертя. Є матеріали, які за експлуатаційними характеристиками можуть замінювати жароміцні сплави. Властивості керамічних матеріалів значним чином залежать від параметрів і технології виготовлення.

Основні сфери використання: ріжучий інструмент, деталі двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних, авіаційних, дизельних поршневих тощо. У високошвидкісних шпиндельних вузлах отримали широке розповсюдження керамічні шарикопідшипники кочення (наприклад, з нітриду кремнію) та гібридні, в яких керамічними є лише кульки. Ці підшипники забезпечують приблизно вдвічі більшу швидкохідність, зменшений в ~1,8 рази нагрів, нижчі коефіцієнти тертя та лінійного розширення (~ на 75%).

Зараз сформульовані основні вимоги, які враховують при проектуванні керамічних деталей [18]: в навантажених зонах керамічна деталь не повинна мати концентратори напруги, найкраще працює на стискання; щоб уникнути мікротріщин, в цих деталях не роблять уступи й проточки, не свердлять отвори; металеві й керамічні деталі одного виробу повинні мати однакові коефіцієнти лінійного розширення, в місцях контакту з металом передбачають компенсаційні чи демпфірувальні прокладки (кераміка має теплоємність вдвічі більшу за метал, що зумовлює теплові деформації, бажано, щоб температура керамічної деталі по всьому об'єму була однаковою).

Недоліки кераміки – крихкість та складність обробки, погане сприйняття механічних або термічних ударів, циклічних навантажень, чутливість до надрізів.

Не слід забувати й про використання нетрадиційних для конкретного виробу металевих матеріалів. Наприклад, корпус шпиндельної головки, виготовлений з алюмінієвого сплаву з низьким коефіцієнтом теплового розширення, дозволяє збільшити жорсткість та зменшити масу на 20-30%.

Перспективним матеріалом у машинобудуванні, кораблебудуванні, будівництві та інших галузях техніки є пінистий алюміній. Це алюміній або сплав алюмінію, що має пористу (чарункову) будову, яку насичено воднем (85-90 %), тобто складається із заповнених газом закритих металевих чарунків. Мала питома вага (0,23-0,75 г/см³) поєднується з низькою теплопровідністю й порівняно високим модулем пружності. Легкий, теплостійкий матеріал, який має демпфіруючі властивості, не утворює тріщини за перепадів температур, не горить. Технічний ефект використання: підвищення жорсткості порожнистих профілів; демпфірування та енергопоглинання; захист від ударів.

На даний час є дуже перспективним для автомобілебудування: кузов з тришарових алюмінієвих листів з середнім шаром з піноалюмінію на 50 % легший за сталевий, у 10 разів стабільніший і жорсткіший.

До речі, як уже згадувалось, існує розробка [14], яка передбачає використання стисненого газу, наприклад, у тонкостінних сталевих трубках, в якості твердого наповнювача у композитах. Газ складає основний об'єм цього матеріалу, чим забезпечуються гарні масогабаритні характеристики.

Окрім пінистого алюмінію, застосовують також близький за властивостями пористий алюміній з відкритими чарунками, який отримують методом литва з використанням наповнювача, що потому видаляється, або гальванічним покриттям пінополіуретаном, який потім також видаляється. Щільність становить $0,9-1,2 \text{ г/см}^3$. Має високу жорсткість.

Якщо казати про осучаснення, оновлення та ремонт металообробного обладнання у зв'язку із сучасними матеріалами, то в першу чергу це стосується

- використання покупних вузлів, найчастіше мехатронних (шпиндельних вузлів з керамічними підшипниками, напрямних кочення, лінійних підшипників, керамічних дроселів у системах живлення аеростатичних підшипників тощо), показники працездатності яких повинен уявляти собі конструктор для обґрунтованого вибору;
- ремонту окремих вузлів та відновлення зношених поверхонь, в першу чергу – напрямних, здебільшого напрямних ковзання у важких верстатах;
- виготовлення окремих деталей.

Застосування ЧПК у верстатах підвищує вимоги до покриттів ковзних поверхонь, бо вимагає забезпечення точності й сталості переміщень та стабільності положення вузлів. Для напрямних ковзання проблемними завжди були малі переміщення: малі за швидкістю й за шляхом. Нерівномірність повільних рухів визначається в основному різницею тертя спокою й тертя руху, а також жорсткістю привода та рівнем демпфірування коливань.

Значна різниця коефіцієнтів тертя спокою і руху у парах тертя чавун-чавун викликає відносно велику похибку позиціонування (до $0,01...0,02 \text{ мм}$), що неприпустимо для ряду верстатів, зокрема – верстатів з ЧПК. Певний час властивості напрямних ковзання покращували термообробкою, додаванням у матеріал легуючих складових (нікель, хром, молібден), зносостійкими покриттями (хромування, покриття напилом молібдену тощо).

З часом все ширшого розповсюдження набрали накладні напрямні ковзання (наприклад, пара бронза-чавун), які потребували оцінки доцільності, бо були дорожчі за рахунок складання й забезпечення кріплення. Але з часом необхідність забезпечити потрібні властивості з'єднань тертя переважила міркування вартості виготовлення, до того ж були розроблені й досліджені відповідні технологічні процеси. Для накладних напрямних рухомих вузлів у парі з напрямними станини з чавуну чи сталі почали використовувати антифрикційні матеріали на полімерній основі, які мають низький коефіцієнт тертя й мінімальну різницю між тертям спокою та руху.

У напрямних ковзання застосовують:

а) пластини або закладені напрямні з наповненого фторопласту (наповнювач – бронза, кокс, графіт, дисульфід молібдену, що одночасно відіграють роль мастила). Пластини встановлюють у спеціально оброблені заглиблення в напрямних, приклеюють епоксидним клеєм та іноді додатково закріплюють гвинтами від зміщення, а захист бічних кромek пластин від мастила та охолоджуючої рідини забезпечують антифрикційними пастоподібними епоксидними компаундами. Потребують остаточної підгонки. Чистий фторопласт не використовують, бо має великі пружні залишкові деформації під навантаженням та швидко зношується. Коефіцієнт тертя у парі з чавуном – $0,09...0,12$, у парі із загартованою сталлю – $0,04...0,06$, практично не залежить від швидкості ковзання і мало змінюється в області низьких швидкостей. Характерні висока зносостійкість, точність та чутливість позиціонування (зона нечутливості порівняно з традиційними напрямними «чавун-чавун» зменшується у 3-6 разів); достатні жорсткість та рівномірність руху; добрі антистрибкові властивості. Направні з матеріалу Ф4К15М5 мають менші релаксаційні автоколивання, ніж напрямні кочення, та збільшену несучу здатність.

б) Композиційні матеріали на полімерній основі (у формі пасти) для створення покриттів товщиною $0,4-6 \text{ мм}$ і площею $2 \times 2 \text{ м}$ та більше

с) Літієві компаунди

Розроблені технології застосування різних полімерних композицій:

- на основі анаеробних герметиків, але треба забезпечити спеціальні умови тривалого процесу (не менш за 12 год) полімеризації композицій, використовувати високоточне спеціальне калібрувальне оснащення значної вартості. Характерна значна технологічна усадка;
- на основі двокомпонентних композицій (так звані клей-компаунди), полімеризація яких відбувається за кімнатної температури на повітрі. Отриманий матеріал є високоміцним водо-, масло-, бензиностійким, добре оброблюється різанням.

В інформаційних джерелах є інформація про дослідження технологічних процесів створення напрямних з полімерними композиціями. Наприклад, [4] встановлено зв'язок між конструктивними особливостями базових деталей з напрямними, товщиною полімерного шару,

способом виготовлення та геометричними відхиленнями форми і взаємного розташування напрямних з полімеру. Впровадження запропонованих і досліджених та обмежено досі впроваджених методів [4] дозволяє скоротити час твердіння полімеру у 3-8 разів, а тривалість виробничого циклу на 75 %

Для оновлення, ремонту та й в нових верстатах, особливо у верстатах з ЧПК і великогабаритних, використовують напрямні у вигляді покриття товщиною 1,5...2,5 мм, які формують з антифрикційних епоксидних компаундів (АЕК) з використанням спеціальної системи подачі компаунда безпосередньо на оброблених металевих напрямних станини чи рухомого вузла.

Засоби нанесення:

- заливання (спеціальна марка АЕК у вигляді рідини);
- намазування (шпаклювання) передбачає застосування АЕК у вигляді пасти;
- запресовування (також пастоподібний АЕК).

Заливання використовують для напрямних великої площі важких та унікальних верстатів, переважно розташованих горизонтально.

Пастоподібні АЕК дуже технологічні: дозволяють виготовити напрямні без механічної обробки: форма напрямних станини копіюється пастоподібним шаром при рухові вузла по напрямних станини. Ці напрямні мають коефіцієнт тертя $\approx 0,03$, тобто 1/7 відносно пари «чавун-чавун».

За необхідності після затвердіння подібне покриття може бути оброблене різанням (наприклад, нанесені канавки для мастила).

Окрім експлуатаційних характеристик, важливими є технологічні властивості, які визначають можливість формування деталі (зокрема, текучість суміші, швидкість твердіння полімерного шару чи придатність до обробки, межа міцності з'єднання полімерного покриття з гладкою чи рифленою поверхнею).

Треба також розуміти і враховувати, що фізико-механічні властивості матеріалів поверхонь деталей, які контактують, в разі, коли мова йде про залізно-вуглецеві сплави й полімерні композиції, відрізняються значним чином. Жорсткість полімерного покриття знижується під дією робочих температур при експлуатації. Цю особливість треба враховувати при виборі матеріалу. Є два шляхи вирішення цієї проблеми:

1) на розмір поверхні, яку виготовляють з полімерних матеріалів або відновлюють з їхнім використанням, жорстко задати допуски з врахуванням можливих додаткових деформацій полімерного шару. Наслідок – підвищення собівартості технологічного процесу через використання високоточних методів обробки й вартісного технологічного оснащення;

2) обрати полімерні матеріали з певною межею деформативності. Результат – збереження існуючих норм точності на виготовлення чи відновлення деталі. Проблема: необхідність додаткових теоретичних та експериментальних досліджень і моделювання поведінки деталі в умовах експлуатації. Прикладом розв'язку подібної задачі є [6], але розглянуто конкретний випадок, наведена методика, якою можна скористатися, але кожного разу задачу треба розв'язувати заново, враховувати особливості деталі і вузла, для якого її призначено, специфіку навантаження й умов експлуатації, це ще без врахування відповідної кваліфікації фахівця.

При розробці нових конструкцій і ремонті металообробного обладнання є розповсюдженим матеріал Моглайс (фірма «Діамант», Німеччина) як покриття систем ковзання із властивістю самозмащування, що за умови точного формування твердішає без усадки. Випускають у рідкому стані або у вигляді пасти. Економічність застосування забезпечується за товщини шару матеріалу не більш за 1,5 мм. У верстатах застосовують для відновлення поверхонь напрямних, в першу чергу у важкому обладнанні, для вертикальних напрямних тощо.

З метою зменшення коефіцієнту тертя і, відповідно, зношення, запропоновано [7] вкладень підшипника ковзання, який містить вставки з твердого наповнювача на основі композитного матеріалу «Моглайс» та з додатковим вмістом 33% консистентного мастила і має здатність самозмащуватися. Площа поверхні композитних вставок становить 10-15 %. Подібними підшипниками у важконавантажених вузлах з не дуже досконалим змащуванням, зокрема у металургічному виробництві, можна замінити традиційні підшипники ковзання з вкладнями з бронзи, яким властиве значне зношування і як виготовлення, так і ремонт яких вимагають значних витрат.

Висновки. Таким чином, інформаційне дослідження, матеріали якого наведені у даній роботі, підтвердило широке розповсюдження сучасних неметалевих матеріалів із значним

технічним ефектом. Конструктор повинен орієнтуватися у властивостях цих матеріалів та можливих наслідках їхнього використання, притому незалежно від того, чи він застосовує цей матеріал (тоді, відповідно, треба мати спеціальні знання щодо технологічних особливостей використання у кожному конкретному випадку), чи планує застосувати покупний вузол. На жаль, попри досить широке використання нових конструкційних матеріалів, інформація про наслідки їхнього застосування розпорошена й не є чітко структурованою. Стандартні пакети прикладних програм (зокрема й такі популярні, як ANSYS, NASTRAN та ін.) не адаптовані для розрахунку динамічних характеристик несучих систем, тим більш з врахуванням обраного полімер-мінерального матеріалу, а існуючі розробки у цьому напрямі (наприклад, [9]) не є всеохоплюючими та універсальними. Отож паралельно із розробкою нових матеріалів та технологій їхнього використання необхідно досліджувати наслідки цього використання, обґрунтовувати доцільний вибір як матеріалу, так і технології для конкретних умов на базі методів системного аналізу й прийняття рішення (багатокритеріальний аналіз альтернатив), і розраховувати отримані показники працездатності, що потребує також розробки відповідних методик розрахунку. До того ж треба враховувати перспективність 3D-друку, зокрема й для елементів станин без спеціального оснащення й шліфування напрямних. Розробка й впровадження подібних принтерів не за горами, але то вже тема дещо іншої розмови.

Інформаційні джерела

1. Альбер А.Я., Бочаров Н.Ф., Минаев А.А., Семенов В.М. Упругие волны в наружном кольце подшипника качения при радиальном нагружении // Известия ВУЗов. Машиностроение. -1989. – №5. – С.32-37
2. Барт В.Е., Санина Г.С., Шевчук С.А. Опыт применения синтегран в машиностроении // Станки и инструмент – 1993. – №1. – с. 15-17.
3. Воронкин В.А., Евланов В.В., Горбунов А.Г. Эксплуатационные отказы подшипниковых узлов электродвигателей // Станки и инструмент – 1993. – №5. – с. 13.
4. Джафаров Шукуф Исфендияр кызы Технологическое обеспечение качества изготовления направляющих элементов металлорежущих станков с использованием полимера автореф. канд. дис. спец 05.02.08 – М. (МГТУ им. Н.Э.Баумана), 2000 – URL: <http://tekhnosfera.com/tehnologicheskoe-obespechenie-kachestva-izgotovleniya-napravlyayuschih-elementov-metallorzechuschih-stankov-s-ispolzovanie#ixzz4bQemOzgG>
5. Елин А.В. Повышение эффективности и качества обработки полимербетонов шлифованием: на примере синтегран. автореф дис. канд. техн. наук, / 05.03.01 – М, 2008. – URL: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-effektivnosti-i-kachestva-obrabotki-polimerbetonov-shlifovanem>
6. Ефанов С. А. Обеспечение параметрической надежности ремонтно-технологического оборудования восстановлением шпиндельных узлов полимерными композиционными материалами :). автореф. дис канд. техн наук.; 05.20.03/ Мордовский гос. университет им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2015. – 17 с. – URL: <http://vak2.ed.gov.ru>
7. Ищенко А.А., Радионенко А.В., Антоненко А.В. Исследование антифрикционных подшипников скольжения со вставками из композитных материалов – URL: <https://docplayer.ru/36764664-Issledovanie-antifrikcionnyh-podshipnikov-skolzheniya-so-vstavkami-iz-kompozitnyh-materialov.html>
8. Кирилин Ю. В., Титов Д., А. Применение синтегран для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков // Станки и инструмент – 1993. – №1. – С. 18-19.
9. Кирилин Ю. В. Совершенствование несущих систем фрезерных станков на основе их моделирования и расчета динамических характеристик автореф дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / УлГТУ – Ульяновськ, 2006. – 32 с. - URL: <http://www.ulstu.ru/main?cmd=file&object=506>
10. Литьевые смолы DWH Типы чугуна/сталь, алюминий, минерал – URL: <https://docplayer.ru/44424787-Litevye-smoly-dwh-tipy-chugun-stal-alyuminiy-mineral.html>
11. Машиностроение. Энциклопедия. М.: Машиностроение. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т.IV – 7 /, О.И.Аверьянов, Г.А. Адоян и др.; Под ред. Б.И Черпакова – 2002. – 864 с.
12. Оссама Мохамед Ерфан Ахмед Снижение виброактивности корпусных деталей металлорежущих станков путем применения композиционных материалов (синтегран). автореф. дис канд. техн наук.; 05.03.01/ Российск университет дружбы народов. – М., 2004. –

URL: <http://tekhnosfera.com/snizhenie-vibroaktivnosti-korpusnyh-detaley-metallorzhuschih-stankov-putem-primeneniya-kompozitsionnyh-materialov-sinteg#ixzz4xIMuPqyE>

13. Г.Паскер Применение новых материалов в станкостроении. // Станки и инструмент – 1988. – №10. – с. 29-31.

14. Понятовский С. Новый композит – URL: <http://www.i-mash.ru/materials/technology/15610-novyjj-kompozit.html>

15. Попов Георги Металорежещи машини част II. Конструирани и пресмятани / Учебникът – Технически университет – София – 2010 г. – Книга първа – 213 с.

16. Шевчук С.А., Смайловская М.С. Минерал-полимерный композит для станкостроения. – URL: <http://mirprom.ru/public/mineral-polimernyy-kompozit-dlya-stankostroeniya.html>

17. Применение эпоксикаучуковых клеев для изготовления подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков / В.А. Сытов, А.Е. Верстаков, А.Е. Воронин и др. – URL: <https://docplayer.ru/64546808-Primenenie-epoksikauchukovyh-kleev-dlya-izgotovleniya-podshipnikov-skolzheniya-iz-antifrikcionnyh-ugleplastikov.html>

18. Рогов В.А., Соловьев В.В., Копылов В.В. Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 324 с.

19. Фатхуллин А.З. О возможности применения полимерных композиционных материалов в сельскохозяйственном машиностроении – URL:

<http://www.i-mash.ru/materials/technology/90107-o-vozmozhnosti-primeneniya-polimernykh.html>

20. Фирсов В.Т., Лебедь В.Т., Бобух И.А., Гречушкин Г.М. Исследование фреттинг-износа крупных деталей, соединенных натягом // Вестник машиностроения. -1991. - №3. -с.14-16.

Верба И. И., Даниленко А. В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статья посвящена проблемам, которые возникают в случае необходимости обоснованного выбора новых конструкционных материалов или приобретения на рынке готовых мехатронных узлов или оборудования в целом, в которых применены эти материалы. Для этого конструктор должен ориентироваться в свойствах и в технологиях применения новых, преимущественно полимер-композитных, материалов, быть способным осуществить их сравнительную оценку (на качественном уровне). Несмотря на наличие большого количества информационных источников и исследований (на уровне диссертаций на присуждение научных степеней) по указанной тематике и явную целесообразность и технический эффект использования новых материалов, информация о последствиях их применения разпылена и не является четко структурированной. Стандартные пакеты прикладных программ (в том числе такие популярные, как ANSYS, NASTRAN и др.) не адаптированы для расчета динамических характеристик несущих систем, тем более с учетом выбранного полимер-минерального материала, а существующие разработки в этом направлении не являются полными и универсальными. Следовательно, задача системного анализа и принятия решения обоснованного выбора как материала, так и технологии его применения, является актуально, как и разработка соответствующих методик расчета полученных показателей работоспособности.

Ключевые слова: конструкционные материалы, мехатронные узлы, новые материалы, сравнительную оценку, системный анализ, выбор материалов, технологии применения.

Verba I. I., Danylenko O. V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

USE OF MODERN MATERIALS AS A MEANS OF ENHANCEMENT EFFICIENCY OF TECHNICAL SYSTEMS

The article is devoted to the problems that arise in the event of the need for a reasonable choice of new structural materials or the purchase of ready-made mechatronic units or equipment in the market in which these materials are used. To do this, the designer should be guided by the properties

© **Верба І.І., к.т.н., Даниленко О.В., к.т.н.,**

and in the application of new, mainly polymer-composite materials, be able to perform their comparative assessment (at a qualitative level). Despite the large number of information sources and researches (at the level of theses for awarding degrees) on the subject matter and the explicit expediency and technical effect of the use of new materials, the information on the consequences of their use is scattered and not clearly structured. Standard application packages (including popular ones such as ANSYS, NASTRAN, etc.) are not adapted to calculate the dynamic characteristics of carrier systems, especially with regard to the selected polymer-mineral material, and the existing developments in this direction are not comprehensive and universal. So the task of system analysis and decision making on a reasonable choice of both material and technology of its application, is at the time, as well as the development of appropriate methods for calculating the obtained performance indicators.

Key words: *construction materials, mechatronic knots, new materials, comparative evaluation, system analysis, materials selection, application technology.*

Стаття надійшла до редакції 24.10.2018

УДК 657.471

Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Шабайкович В.А., д.т.н., проф., Марчук І.В., к.т.н., доц.
Луцький національний технічний університет

ОЩАДЛИВЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Зниження виробничих витрат може досягатися виключно при комплексному аналізі та синтезі рівня конструкції виробів, технології та організації їх виготовлення. Виробництві витрати на якість, конкурентоспроможність виробів та навколишнє внутрішнє і зовнішнє середовище повинні бути пов'язані між собою оптимальними співвідношеннями. Порушення цих взаємозв'язків приводить до збільшення виробничих витрат і одночасного випуску неякісної та неконкурентоспроможної продукції. Тому спочатку встановлюється потрібна та обґрунтована якість і конкурентоспроможність виробу, а далі розглядається їх забезпечення за рахунок технологічності сучасної конструкції, ефективної технології, технологічного обладнання та оснащення, кваліфікації інженерів і робітників, організації виробництва. Цим вимогам відповідає ощадливе виробництво, яке передбачає мінімізацію витрат, виключення всіх втрат, раціональне виконання операцій, постійний контроль результатів. Розроблена класифікація витрат виробництва, аналіз і синтез, що дозволить зменшувати витрати за рахунок оптимізації. Обов'язкове врахування причин збільшення виробничих витрат та зарубіжний досвід.

Ключові слова: витрати, ощадливе виробництво, заходи, мінімізація.

Виготовлення продукції в приладобудуванні, повинно бути економічно ефективним, тобто високоякісним, конкурентоспроможним і низьковитратним. Вимоги ринкової економіки, стратегії маркетингу, суттєво змінюють стратегію сучасного виробництва. Це особливо важливе для виробництва України і інших бувших радянських республік, в яких у більшості виробництво було як неякісним, так і високовитратним. Витрати, якість і конкурентоспроможність при виробництві продукції тісно пов'язані між собою та навколишнім середовищем оптимальними співвідношеннями. Порушення цієї залежності тягне за собою в першу чергу збільшення витрат і паралельно випуск неякісної та неконкурентоспроможної продукції. Тому спочатку слід встановлювати потрібні та обґрунтовані якість і конкурентоспроможність виробів, а далі розглядати їх забезпечення за рахунок сучасності конструкції, технології та організації виробництва.

Поставленим вимогам повністю відповідає ощадливе виробництво (*Lean Production*), першоджерелом якого була виробнича система *Тайота*, що передбачувала мінімізацію всіх видів витрат, виключення втрат, раціональне виконання потрібних операцій, наведення порядку, постійний контроль результатів і інше при забезпеченні високої якості та конкурентоспроможності продукції, послуг [1]. Тому концепцією ощадливого виробництва є постійне усунення всіх видів втрат, яких є багато і необґрунтованих з різних джерел походження. Виробництво передбачає залучення в процес кожного працівника та максимальну орієнтацію на споживача.

Основними принципами ощадливого виробництва вважається визначення цінності як конкретної продукції, так і потоку створення витрат для виробу, забезпечення неперервності протікання потоку, встановлення довготермінових відношень з постачальниками і споживачами. Ці принципи базуються на концепції точно в час (*Just in time*), автоматизації, мінімізації запасів, тощо. В рамках ощадливого виробництва були виділені методи потоку одиничних виробів, *Канбан*, загальний догляд за обладнанням (*TPM – Total Productive Maintenance*), систему *5S*, швидке переналаджування (*SMED*), *Кайзен* і інші.

Поступ виробництва залежить від багатьох чинників і можна вважати, що автоматичні лінії були характерними в основному для масового виробництва, гнучкі, роботизовані системи, *ЧПУ*, – для гнучкого, системи *CAD/CAM*, *CIM*, *DNC* – для комп'ютерно-інтегрованого, *TQM*, програмне інженерське забезпечення, для ощадливого, *TQM*, *MRP II* – для виготовлення на замовлення, *SAX* – для синхронного виготовлення та віртуального виробництва.

Класифікація витрат виробництва (рис. 1) показує джерела їх походження та різновиди, а також формування собівартості продукції. Якщо конструкційним, технологічним, організаційним і кваліфікаційним витратам приділялась увага [2], то впливу зовнішнього середовища ні, хоча такі витрати значні та залежать від багатьох некерованих і часто



Рис.1. Класифікація витрат виробництва

випадкових чинників. Вони сформовані багаторічним рівнем розвитку економіки, техніки, відношенням робітників, суспільства і т. п. Кожна витрата має свої складові, які і слід в першу чергу аналізувати. Мінімізація витрат не означає їх загальне по елементне зменшення, краще тут підходить оптимізація, при якій можливе збільшення деяких витрат при умові зменшення загальних [3].

До різновидів витрат необхідно відносити витрати, пов'язані з загальним рівнем виробництва в державі, надлишковими переміщеннями і транспортуванням, зайвою обробкою при виготовленні, невикористанням творчого потенціалу, перевантаженням робіт, нерівномірним часом виконання операцій, можливим очікуваннями в майбутньому, а також іншими, оскільки такий перелік не може бути вичерпним для різного виробництва, яке має свої особливості. Структура витрат на виробництво продукції є різною. Так у промисловості України в 2002 році структура була наступною: матеріальні витрати 69,2%, амортизація – 5,9%, витрати на оплату праці – 11,1%, відрахування на соціальні заходи – 4%, інші операційні витрати – 9,8%. Слід відмітити, що витрати виробництва щорічно зростали.

При розгляді витрат часто зустрічаються терміни - економічні та бухгалтерські витрати. Це ті ж самі витрати, розглянуті з різних позицій. Так наприклад, економічні витрати - це зовнішні витрати виробництва на придбання ресурсів, та ще й неявні внутрішні, або альтернативні (власні виробничі ресурси підприємства). Тобто, це вартість усіх виробничих ресурсів незалежно від того, чи вони є власністю підприємства чи закуповуються зовні. Бухгалтерські витрати виробництва пов'язані з придбанням необхідного для забезпечення випуску продукції за ринковими цінами. Тобто, це грошові витрати на придбання виробничих ресурсів, які не належать підприємству. Відомі також незворотні витрати, які не відшкодовуються ні за яких умов.

Причин збільшення виробничих витрат при випуску продукції досить багато, основними можна вважати: хаос в країні, пов'язаний з дикою приватизацією, корупцією, рейдерством, занепадом виробництва, політизацією, поганим законодавчим супроводом виробництва, відсутністю цільового фінансування виробництва, негативним ставленням до змін, які проводяться в суспільстві, косністю, небажанням що-небудь змінювати, негативним ставленням до всього нового, штучним створенням «фільтрів» обмеження допуску до виробництва кваліфікованих кадрів за рахунок зменшення зарплат, скорочення штатів, заповнення штатів некваліфікованим персоналом, особливо керівним за рахунок партійних квот, бажанням заробляти швидкі гроші просто з повітря, не вкладаючи у виробництво кошти тощо. Вплинули на це також відсутність кваліфікованого персоналу, особливо робітників, техніків, сучасного обладнання та оснащення, робота виробництва на випуск старих неефективних конструкцій виробів, таких же технологій та організацій, невикористання нових

методик організації виробництва, проектування нових виробів, технології, не проведення заходів по зменшенню виробничих витрат тощо.

Значно зменшити витрати виробництва можна за рахунок впровадження систем комп'ютерно-інтегрованого виробництва майбутнього *CE, CAM, CAD, CAQ, CAE, CAP, PPS, LAN, WAN, MAP, TOP* і інших. Так лише за рахунок використання модульного принципу [4], можна значно зменшити такі витрати, сутність якого полягає у застосуванні різнотипних типових модулів заміщення технічних систем, в першу чергу конструкцій, технологій, управління та організації процесів обмеженої номенклатури, тобто побудови виробничих систем шляхом їх компонування з взаємозв'язаних модулів. Модуль є добре відпрацьованою одиницею багаторазового використання обмеженої номенклатури з характерними рисами автономності, стикувальності, зв'язаності та надмірності. Такі модулі формуються на підставі конструкцій, технологій, організації виробництва виробів і є тісно пов'язаними з іншими виробничими модулями, які їх реалізують і представляють собою елементарну одиницю з певним обсягом виконуваних рухів і дій. У загальному модуль описується матрицею витрат:

$$M_i = \begin{pmatrix} w_{o11} & w_{o12} & \cdot & \cdot & \cdot & w_{o1a} \\ w_{d21} & w_{d22} & \cdot & \cdot & \cdot & w_{d2a} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{db1} & w_{db2} & \cdot & \cdot & \cdot & w_{dba} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де w_{oi} , w_{dj} - відповідно, витрати на виконання основних і допоміжних елементів операцій; a , b - їх кількість.

У загальному функція структури модульних витрат виготовлення виробів записується сукупністю зістикованих модулів

$$W = \left\langle \sum_{i=1}^a MBK_{\kappa-mu_i} \right\rangle \Rightarrow \left\langle \sum_{j=1}^b MK_{\kappa-cu_j} \right\rangle \Rightarrow \left\langle \sum_{l=1}^c BM_l \right\rangle, \quad (2)$$

де MBK , MK , BM - відповідно модульні витратні комплекси, комплекти і окремі витратні модулі; a , b , c - їх оптимальна кількість. В такому модульному процесі витрат виготовлення виробів кожний BM пов'язаний з попереднім і наступним по горизонталі та вертикалі і може бути концентрованим чи диференційованим.

При моделюванні витрат виготовлення виробів на початку виконується аналіз, потім синтез модульного процесу з метою встановлення раціональної структури модулів і модульного процесу в цілому. Нова концепція формування модулів і процесів полягає в тому, що всі модулі витрат формуються одночасно на базі необхідних операцій чи дій для типових виробів групи, виявляються зв'язки між сукупністю таких дій, умов і обмежень. Відомі практично початки основ модульних технологічних процесів виготовлення продукції з оптимізацією їх витрат.

Суттєво зменшити витрати виробництва можна також застосуванням інтелектуальних систем прийняття рішень [5]. Такі рішення особливо доцільні при виготовленні продукції за нечітких умов, коли застосування традиційних засобів визнається неефективним. У загальному в інтелектуальну підтримку прийняття рішень входять: аналіз і синтез необхідної інформації, методи ідентифікації побудови нечіткої системи, генерування її нечіткої бази за допомогою штучних засобів, методи і алгоритми підтримки прийняття виробничих рішень, інтерактивний алгоритм вирішення багатокритеріальних завдань оптимізації з використанням генетичних алгоритмів, розробка пакета прикладних програм реалізації інтелектуальної системи прийняття рішення та багато іншого.

Такі виробничі системи в майбутньому ввійдуть в склад комп'ютерно-інтегрованого виробництва *CIM* і суміщеного проектування *CE*, *CIM* складається з трьох основних компонентів: комп'ютерної підтримки проектування *CAD*, виготовлення, планування та управління виробництвом *PPC/S*. При цьому *CAD/CAM* не є лише поєднанням програмування *CAD* з цифровим управлінням, а інтеграцією технічних рішень з метою виготовлення виробів і охоплює процесний ланцюг з *CAD*, *CAP*, *CAM*, *CAQ*. Модель *CIM* наведена на рис. 2, де

підприємство розглядається на фоні технічних і економічних функцій, які воно виконує, та взаємозв'язків, що розглядаються в послідовному їх виконанні. Завдання зустрічаються в пункті початку виготовлення виробів, а їх черговість обумовлюється процесом виникнення виробу. Контроль якості знаходиться в кінці ланцюга після остаточного виготовлення виробу, після чого є можливим впровадження коригувальної інформації для проектування, програмування та управління. До систем, що підтримують комп'ютерну інтеграцію виробництва, відносяться технологія виготовлення через локальні комп'ютерні системи LAN, WAN, MAP, TOP, а також система проектування LINKAGE. Другий напрямок пошуків зменшення витрат виробництва пов'язаний з розвитком мультимедіа Інтернету, як інформаційних засобів, що створюють нові можливості практичного використання TCP/IP, SMTP, VMD та інших. Збільшення розрахункової потужності забезпечує система ATM, яка здійснює пересилання інформації в мережі зі 45-620 Mbps.



Рис.2. Модель ощадливого комп'ютерно-інтегрованого виробництва СІМ

Суміщене проектування *CE* є найновішою методикою планування та проектування ощадного виробництва, яке полягає в паралельному, систематичному та інтегрованому проектуванні виробів та процесів їх виробництва з мінімальними витратами, тобто постійній участі проєктантів у вирішуванні конструкційних, технологічних і організаційних питань, формуванні графіків випуску, формуванні витрат. Проектування *CE* спирається на паралелізацію інтеграції та стандартизації і спрямоване на вимоги клієнтів про здешевлення виробництва, вдосконалення виробів-приладів і процесів їх виготовлення.

Висновки. Скорочення виробничих витрат досягається зменшенням їх складових і структури виготовлення виробів і зниженням цін на матеріали, півфабрикати, комплектуючі, енергію, паливо, податки тощо. Досягнути це можна вже за сучасних умов, так і в довготерміновій перспективі, коли відновиться економіка країни і сприятливі умови виробництва, не на папері, а в дійсності. Оскільки багато залежить від політичних чинників, то навіть при їх усуненні скорочення виробничих витрат буде лише часткове, тому вже тепер крім усунення політичного впливу необхідно впроваджувати більш важливий економічний, старатися усувати косність, небажання будь-яких змін, забезпечення виробництва кваліфікованим персоналом, впроваджувати передові методики проектування нових виробів, сучасних технологій, організацій. Забезпечити зменшення виробничих витрат можна як за рахунок скорочення адміністративного персоналу, підвищення їх кваліфікації, зарплат, так і технологічного обладнання з оснащенням, організації праці тощо. Однак загальним напрямком повинно бути впровадження систем *СІМ*.

Інформаційні джерела

1. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. — М.: «Альпина Паблишер», 2011.
2. Великанов К.М. и другие. Методика расчета экономической эффективности новой техники. — Л.: Машиностроение, 1985. -540 с.
3. Цимбалюк Л. Г. Чинники, резерви та шляхи зниження витрат виробництва як основа зменшення ціни товару / Л. Г. Цимбалюк, Н. П. Скригун // Вісн. Бердян. ун-ту менеджменту і бізнесу. — 2011. — № 3 (15). — С. 88–95.
4. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи модульного автоматичного складання виробів. Монографія. -Луцьк: Надстир'я, 2008. -520 с.
5. Шевченко А.Л. Світові тенденції та практичні досягнення у проблемі штучного інтелекту // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні. -Київ: Наукова думка, 2010. С. 561-572.

Григор'єва Н. С., д.т.н., проф., Шабайкович В. А., д.т.н., проф., Марчук І. В., к.т.н., доц.
Луцкий национальный технический университет

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Снижение производственных затрат может достигаться исключительно при комплексном анализе и синтезе уровня конструкции изделий, технологии и организации их производства. В производстве затраты на качество, конкурентоспособность изделий, окружающую внутреннюю и внешнюю среды должны быть связаны между собой оптимальными соотношениями. Нарушение этих зависимостей приводит к увеличению производственных затрат и одновременного выпуска некачественной и неконкурентоспособной продукции. Поэтому сначала устанавливается необходимое и обоснованное качество и конкурентоспособность изделия, а далее рассматривается их обеспечение за счет технологичности современной конструкции, эффективной технологии, технологического оборудования и оснастки, квалификации инженеров и рабочих, организации производства. Этим требованиям отвечает бережливое производство, которое предусматривает минимизацию затрат, исключения всех потерь, рациональное выполнение операций, постоянный контроль результатов. Разработана классификация затрат производства, их анализ и синтез, что позволит их уменьшать за счет оптимизации. Обязательный учет причин увеличения производственных затрат и зарубежный опыт.

Ключевые слова: затраты, бережливое производство, мероприятия, минимизация.

N. Grigoryeva, Ph.D., prof., V. Shabaykovich, Ph.D., prof., I. Marchuk Ph.D.
Lutsk National Technical University

LEAN PRODUCTION OF INSTRUMENTATION PRODUCTS

Reduction of production costs can be achieved only with the complex analysis and synthesis of the level of product design, technology and organization of their manufacturing. In manufacturing, the cost of quality, product competitiveness and the surrounding internal and external environment should be interconnected by optimal correlations. Violation of these dependencies leads to an increase in production costs and the simultaneous production of low-quality and noncompetitiveness products. Therefore, the necessary and justified quality and competitiveness of the product is first established, and then their provision is considered at the expense of modernity design technology, efficient technology, technological equipment and fixture, qualifications of engineers and workers, and organization of production. These requirements are consistent with cost-effective production, which involves minimizing costs, eliminating all losses, rational execution of operations, continuous monitoring of the results. A classification of production costs, analysis and synthesis is developed that will reduce costs by optimizing. At the same time, it is imperative to take into account the reasons for the increase of production costs and foreign experience.

Key words: costs, lean production, measures, minimization.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2018

© Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Шабайкович В.А., д.т.н., проф., Марчук І.В., к.т.н., доц.

УДК 621. 822:681.2:369.64

Джугурян Т.Г.

Щецінська морська академія (Польща)

Марчук В. І., Марчук І. В., Олексин М. В., Сачковська Л. О.

Луцький національний технічний університет

ДО ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТИМИ КРУГАМИ

В роботі розроблено методику розрахунку параметрів теплового процесу під час безцентрового шліфування поверхонь обертання кілець переривчастими кругами та встановлено відповідність значень приведенного показника температури з кількістю тепла, що виділяється під час переривчастого шліфування. Було встановлено баланс тепла, яке переходить в стружку та в заготовку, як важливої передумови для технологічного керування температурою в зоні шліфування. Запропоновано використання прогресивного, переривчастого, шліфувального інструмента (кругів) на операціях чорнового та напівчистового шліфування базових поверхонь зовнішніх кілець після термічного оброблення внаслідок чого, покращились умови тепло- та стружковідведення від зони різання, що, в свою чергу, дозволило підвищити точність і якість шліфованих поверхонь, знизити температуру різання, запобігти виникненню температурних дефектів, збільшити технологічну продуктивність шліфувальних операцій. Проведена кількісна оцінка впливу глибини шліфування та швидкості деталі на основні параметри теплового процесу під час безцентрового шліфування зовнішніх поверхонь обертання кілець роликотішлишників.

Ключеві слова: температура, тепло, шліфування, переривчастий круг.

В загальному випадку температура шліфування θ визначається залежністю: [1, 2]

$$\theta = \left(\frac{\sigma}{c \cdot \rho} \right) \cdot \omega \quad (1)$$

В яку входять два змінних параметри: умовне напруження різання σ і приведений показник температури ω , який змінюється в межах 0...1. Тому, зменшити температуру шліфування θ можна зменшенням цих двох параметрів. Зменшення умовного напруження різання σ , визначимо за допомогою залежності для встановлення умовного напруження різання σ :

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{cm}}{K_{piz}} \quad (2)$$

де – σ_{cm} межа міцності оброблюваного матеріалу на стиснення, Н/М²; $K_{piz} = P_z / P_y$ – коефіцієнт різання; P_z, P_y – тангенціальна і радіальна складові сили різання, Н, які пов'язані з підвищенням ріжучої здатності шліфувального круга за рахунок збільшення коефіцієнта різання K_{piz} .

Даний коефіцієнт залежить від наступних чинників [4, 5]: гостроти ріжучих зерен круга, інтенсивності тертя оброблюваної заготовки з шліфувальним кругом. Тому для збільшення K_{piz} необхідно в процесі шліфування забезпечити своєчасне випадання із зв'язки круга зношених зерен. Ця умова досягається застосуванням ефективних методів правки круга, а саме, безперервної правки, що забезпечує стабілізацію в часі ріжучої здатності шліфувального круга.

Для аналізу шляхів зменшення температури шліфування розглянемо приведенний показник температури ω у відповідності з залежністю:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{num} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \bar{l}_1 \quad (3)$$

де $\bar{l}_1 = -\ln(1 - \omega) - \omega$.

Як бачимо, зменшення параметра ω припускає зменшення безрозмірної величини \bar{l}_1 . Це означає, що безрозмірна величина \bar{l}_1 тим менша, чим менша питома продуктивність оброблення Q_{num} і глибина шліфування t .

Отже для зменшення величини \bar{l}_1 , приведеного показника температури ω і відповідно температури шліфування θ , оброблення доцільно виконувати по схемі багатопрхідного шліфування, тобто з мінімально-можливою глибиною шліфування t і максимально-можливою швидкістю деталі V_d для заданої питомої продуктивності оброблення Q_{num} .

В загальному випадку приведений показник температури ω залежить від часу τ і швидкості переміщення теплового потоку V_{piz} , згідно залежності:

$$\tau = \frac{l_1}{V_{piz}} = -\frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{piz}^2} \cdot [\ln(1 - \omega) + \omega] = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{piz}^2} \cdot \bar{l}_1 \quad (4)$$

Тому для заданої швидкості V_{piz} зменшити параметр ω можна зменшенням часу τ .

Це досягається в першу чергу за рахунок періодичного переривання процесу шліфування шляхом використання переривчастих кругів, введення додаткових коливань круга або оброблювальної деталі.

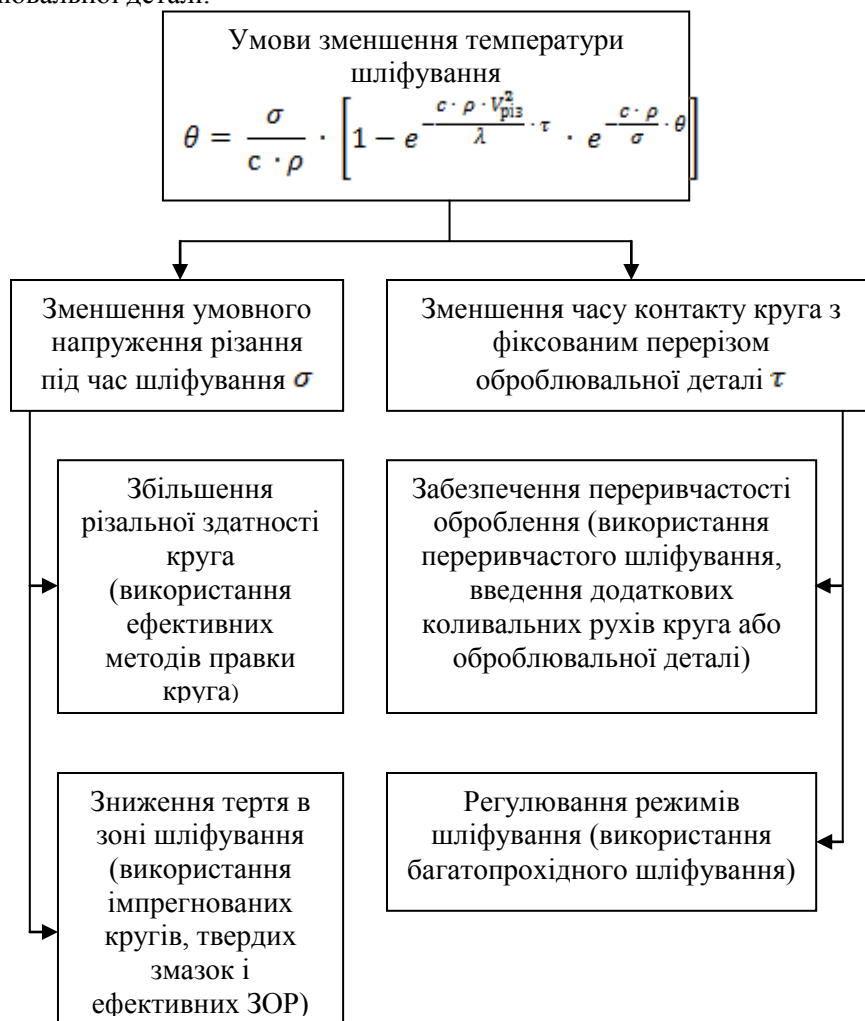


Рис. 1. Шляхи зменшення температури під час переривчастого шліфування

На основі проведеного аналізу сформульовано основні умови зменшення температури шліфування θ (рис. 1).

Другим, не менш ефективним шляхом зменшення часу τ є керування режимами шліфування, наприклад, за рахунок використання багатопрхідного шліфування, яке забезпечує зменшення приведенного показника температури ω [2, 3, 4].



Рис.2. Загальний вигляд робочого простору безцентрово-шліфувального верстата

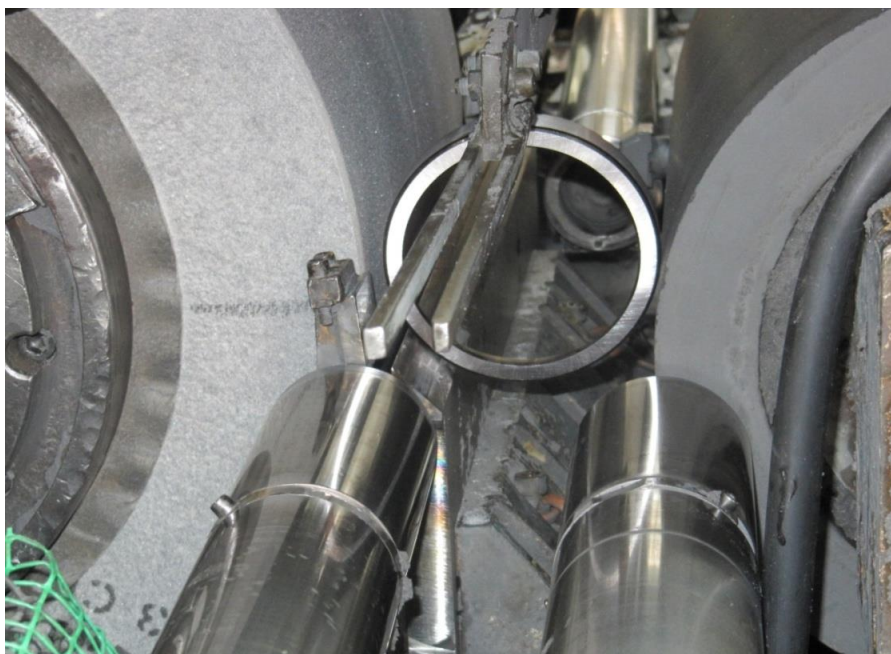


Рис.3. Налаштування безцентрово-шліфувального верстата на виконання шліфувальних операцій

Висновки. Проведена кількісна оцінка впливу глибини шліфування та швидкості деталі на основні параметри теплового процесу під час безцентрово-шліфування зовнішніх поверхонь обертання кілець роликотішипників. Зі збільшенням глибини шліфування приведений показник температури ω збільшується. Встановлено, що зі збільшенням частоти

обертання деталі приведений показник температури ω безперервно збільшується, а товщина поверхневого шару заготовки, в якому концентрується тепло зменшується і приймає значення в декілька разів більше глибини шліфування. Отже, кількість тепла, що переходить в стружку збільшується в межах 20...30%, однак з меншою інтенсивністю, чим від збільшення глибини шліфування t . Обґрунтовані основні умови зменшення температури під час переривчастого шліфування, які полягають в зменшенні умовного напруження різання і часу дії теплового джерела в зоні шліфування. В першому випадку – це досягається підвищенням ріжучої здатності шліфувального круга, та зниженням тертя в зоні шліфування. В другому випадку забезпеченням переривчастості оброблення та регулюванням режимів шліфування.

Інформаційні джерела

1. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов, Ю.А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76-78.
2. Марчук В.І. Класифікація та походження температурних дефектів на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання / Марчук, І.В. Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві / Матеріали Шістнадцятої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво», м. Суми, 26-29 жовтня 2016 р. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 102–103.
3. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Новый упрощенный подход к расчету температуры поверхностного слоя детали при ее механической обработке. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005 г.– Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С.137–146.
4. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.
5. Марчук І.В., Марчук В.І., Модель стабілізації високочастотних коливних процесів в динамічній системі круглого врізного шліфування. Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2016. – Перспективні технології та прилади №9. - С.75-83.
6. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / М.В. Олексин, А.М. Ештеїві // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.
7. Марчук І.В. Технологічне керування температурою під час безцентрового шліфування функціональних поверхонь обертання/ Марчук В.І. // «Наукові нотатки». Випуск 61. м. Луцьк, 2018 – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – С. 142-147

Джугурян Т. Г., д.т.н.

Щецинская морская академия (Польша)

Марчук В. И., д.т.н., Марчук И. В., к.т.н., Олексин Н. В., Сачковська Л. А.

Луцкий национальный технический университет

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРЕРЫВИСТЫМИ КРУГАМИ

В работе разработана методика расчета параметров теплового процесса при бесцентрового шлифования поверхностей вращения колец прерывистыми кругами и установлено соответствие значений приведенного показателя температуры с количеством тепла, выделяемого при прерывистого шлифования. Было установлено баланс тепла, которое переходит в стружку и в заготовку, как важной предпосылки для технологического управления температурой в зоне шлифования. Предложено использование прогрессивного, прерывистого, шлифовального инструмента (кругов) на операциях чернового и получистового шлифовки базовых поверхностей наружных колец после термической обработки, в результате чего улучшились условия тепло- и стружко отвода от зоны резания, что, в свою очередь, позволило повысить точность и качество шлифованных поверхностей, снизить температуру резания, предотвратить возникновение температурных дефектов, увеличить технологическую производительность шлифовальных операций. Проведена количественная оценка влияния глубины шлифования и скорости детали на основные параметры теплового

процесса при бесцентрового шлифования наружных поверхностей вращения колец роликоподшипников.

Ключевые слова: температура, тепло, шлифовка, прерывистый круг.

T. Dzhuguryan, D.Sc.,

Shetsin maritime academy (Poland)

V. Marchuk, D.Sc., I. Marchuk, Ph.D., N. Oleksin, L. Sachkovska

Lutsk National Technical University

BEFORE DETERMINATION THE TERMS OF DECLINE TEMPERATURE OF CENTERLESS GRINDING BY INTERMITTENT CIRCLES

In the work the method of calculating the parameters of the heat process during centrifugal grinding of surfaces of rotation of rings by intermittent circles is developed and the correspondence of the values of the reduced temperature index with the amount of heat released during intermittent grinding is established. A balance of heat was introduced, which goes into shaving and billets, as an important prerequisite for technological control of temperature in the grinding area. The use of a progressive, intermittent, grinding tool (circles) on the roughing and semi-grinding operations of the base surfaces of the outer rings after heat treatment was proposed, resulting in improved heat and shaving conditions from the cutting zone, which in turn allowed to improve the accuracy and quality of the grinding surfaces, reduce the temperature of cutting, prevent the occurrence of temperature defects, increase the technological efficiency of grinding operations. The quantitative estimation of the influence of grinding depth and component speed on the main parameters of the heat process during centrifugal grinding of the outer surfaces of rotation of the roller bearings is carried out.

Keywords: temperature, warmly, polishing, irregular circle.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2018

УДК 621.83.059.13

Заблоцький В.Ю. к.т.н., доц., Прозоровський С.В., Селепина Й.Р. к.т.н.

Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

В статті проведено розрахунок показників напружено-деформованого стану поверхневого шару функціональної поверхні в ході токарного оброблення. Визначено складові залишкових напружень, межа текучості матеріалу. В процесі оброблення результатів побудовано схему трансформації показників напружено-деформованого стану, встановлено, що вони залежать від глибини різання під час лезового оброблення і впливають на формування величини зміцнення поверхневого шару.

Ключові слова: лезове оброблення, зміцнювальна поверхня, токарне оброблення, довговічність, тертя, напруження.

Дія силових факторів в ході оброблення заготовок викликає формування напружено-деформованого стану поверхневого шару, що характеризується розподілом залишкових напружень, а також ступенем і глибиною зміцнення. Існують різні дослідження, присвячені механізмам формування показників напружено-деформованого стану поверхневого шару заготовок [4]. Таким чином, дослідження характеристик функціональних поверхонь є актуальною науково-практичною задачею.

Дослідження [1, 3] підтверджують подібність програм навантаження під час оброблення різанням і поверхневим-пластичним деформуванням. За даними досліджень характер залежностей глибини h_n і ступеня N зміцнення від температури, закони розподілу тангенціальних залишкових напружень по глибині поверхневого шару в ході токарного оброблення і вигладжування підігрітим до температур різання індентором збігаються, що є свідченням ідентичності процесів формування обробленого поверхневого шару в цих випадках. Це дозволяє використовувати єдиний підхід під час дослідження формування показників напружено-деформованого стану для різних видів механічного оброблення й аналізу процесу технологічної спадковості під час перебігу процесу формування показників напружено-деформованого стану для різних видів механічного оброблення і аналізу процесу технологічної спадковості в процесі оброблення.

Аналіз методик визначення стану поверхневого шару деталі після оброблення різанням і управління показниками поверхневого шару показав, що доцільно використовувати методику визначення показників зміцнення і залишкових напружень за результатами досліджень адгезійної взаємодії [2, 4]. При розрахунках враховуються релаксаційні зниження залишкових напружень, запізнювання пластичної деформації в глибині поверхневого шару, швидкісний фактор.

Контакт інструменту і заготовки представляється в формі круга навантаженого рівномірно розподіленими нормальними p_r і дотичними τ_n контактними напруженнями.

Вирішення завдання про розподіл напружень в оброблюваному поверхневому шарі заготовки під дією нормальних p_r і дотичних τ_n навантажень, що діють на інструмент, ґрунтується на наступних припущеннях:

- 1) матеріал деталі є ідеально пружним півпростором, а інструмент – абсолютно жорстким;
- 2) пластична деформація – не робить істотного впливу на розподіл напружень в пружній області;
- 3) дія температури проявляється в зміні фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу і фрикційних характеристик контакту;
- 4) напруження від стружкоутворення (перед інструментом) не чинять істотного впливу на напруженість під задньою поверхнею інструменту.

Вихідними даними для розрахунку є значення нормальних p_r і дотичних τ_n напружень (МПа), отриманих за результатами фрикційних досліджень [5], діаметр площі контакту інструменту та заготовки a (мм), коефіцієнта тертя f межі текучості оброблюваного матеріалу σ_T (МПа), коефіцієнта n , що враховує схильність оброблюваного матеріалу до зміцнення, і коефіцієнта Пуассона μ .

На вході досліджуваної зони в область контакту з інструментом, тобто в області найбільших напружень в поверхневому шарі заготовки, напруження визначаються за такими формулами:

– нормальні:

$$\sigma_z^e = p \left\{ \left(1 - \frac{f}{1+2\mu} \right) \left[\frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} - 1 \right] - \frac{f(1-2\mu)}{1+2\mu} \left[\frac{z}{(a^2+z^2)^{1/2}} - 1 \right] \right\}; \quad (1)$$

– радіальні:

$$\sigma_r^e = p \left\{ 0,5 \left[-(1+2\mu) + \frac{2z(1+\mu)}{(a^2+z^2)^{1/2}} - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} \right] - \frac{f}{1+2\mu} \left[2(1+\mu) \left(\frac{z}{(a^2+z^2)^{1/2}} - 1 \right) - \left(\frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} - 1 \right) \right] \right\}; \quad (2)$$

– тангенціальні:

$$\sigma_\theta^e = p \left\{ 0,5 \left[-(1+2\mu) + \frac{2z(1+\mu)}{(a^2+z^2)^{1/2}} - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} \right] + \frac{f(1-2\mu)}{1+2\mu} \left[\frac{z}{(a^2+z^2)^{1/2}} - 1 \right] \right\}, \quad (3)$$

де z – координата глибини поверхневого шару, мм.

Максимальні дотичні напруження на виході досліджуваної точки із зони контакту заготовки та інструменту з урахуванням швидкісного фактора:

$$\tau_{\max}^e = 0,41 \sqrt{[(\sigma_r^e - \sigma_z^e)^2 + (\sigma_r^e - \sigma_\theta^e)^2 + (\sigma_\theta^e - \sigma_z^e)^2]} - \frac{pz}{\sqrt{(Ш^2 + z^2)}},$$

де коефіцієнт $Ш$ враховує швидкісний фактор.

Зміцнення матеріалу в ході пластичного деформування починається, коли максимальні дотичні напруження τ_{\max}^e перевищують значення $0,5\sigma_T$ (де σ_T – межа текучості матеріалу заготовки) [3]. Таким чином, глибина h_n пластично деформованого поверхневого шару відповідає координаті z , в якій виконується умова рівності максимальних дотичних напружень пластичної постійної вихідного матеріалу:

$$h_n = z_{(2\tau_{\max}^e - \sigma_T)}. \quad (4)$$

Межа текучості зміцненого матеріалу дорівнює:

$$\sigma_{T1} = (2\tau_{\max}^e - \sigma_T)h + \sigma_T,$$

де σ_T – межа текучості оброблюваного матеріалу в початковому стані, МПа.

Знаючи межі текучості до і після оброблення, можна обчислити ступінь зміцнення поверхневого шару:

$$N = \frac{\sigma_{T1} - \sigma_T}{\sigma_T} 100\%. \quad (5)$$

У поверхневому шарі, що зазначає пластичного деформування, формуються напруження, σ_z^p , σ_r^p , σ_θ^p що відрізняються від пружних. Вони максимальні в найбільш навантаженій області поверхневого шару – в площині дії зовнішніх навантажень, що збігається з напрямком руху вершини інструменту. В межах зони контакту інструменту і заготовки напруження пластичного деформування дорівнюють:

– нормальні

$$\sigma_z^p = -p_r + \frac{2p_r f_m z^3}{\sqrt{(a^2+z^2)^3}}; \quad (6)$$

– радіальні

$$\sigma_r^p = \sigma_z^p - \sqrt{\sigma_T^2 - 4\tau_{rz}^2}; \quad (7)$$

– тангенціальні

$$\sigma_\theta^p = \sigma_z^p + \sqrt{\sigma_T^2 - 4\tau_{rz}^2}, \quad (8)$$

при цьому дотичні напруження складають:

$$\tau_{rz}^p = pf \left[1 - \frac{z}{h_n} \right] \frac{1-2\mu}{1+2\mu}.$$

В результаті пластичної деформації знімається частина пружних напружень. Частина, що залишилася фіксується в деформованому і зміцненому обробленому шарі й зберігається в ньому як залишкові напруження. Величина залишкових напружень зумовлена різницею напружень σ^p в пластично-деформованому поверхневому шарі та напружень σ^e в ідеально пружному матеріалі: $\sigma_{zali} = \sigma^p - \sigma^e$.

Таким чином, в пластично деформованій зоні $z = 0..h_n$ після механічного оброблення залишкові напруження складають:

– тангенціальні (дотичні до циліндричної поверхні заготовки та перпендикулярні до твірної):

$$\sigma_\tau = \phi \left[\sigma_r^p - \sigma_r^e + 2fp \left(1 - \frac{z^3}{\sqrt{(m^2 + z^2)^3}} \right) \right], \quad (9)$$

де ϕ – поправочний коефіцієнт; m – додатковий член, що враховує зняття напружень біля поверхні;

– осьові (паралельні до твірної циліндричної поверхні заготовки);

$$\sigma_o = \phi \left[\sigma_\theta^p - \sigma_\theta^e + fp \left(1 - \frac{z^3}{\sqrt{(m^2 + z^2)^3}} \right) \right], \quad (10)$$

– нормальні (по нормалі до циліндричної поверхні заготовки і перпендикулярні до твірної):

$$\sigma_n = \phi [\sigma_z^p - \sigma_z^e]. \quad (11)$$

У пружній області ($z > h_n$) тангенціальні залишкові напруження будуть рівні:

$$\begin{aligned} \sigma_\tau = & \sigma_{r(z=h_n)}^p (-0,5)(1+2\mu) + f + \\ & \left(1 + \mu + \frac{2f(1+\mu)}{(1+\mu)} \frac{s}{\sqrt{(a^2 + s^2)}} - \left(0,5 - \frac{f}{1+2\mu} \right) \frac{s^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} \right) \\ + & \frac{[-0,5(1+2\mu) + f] - p_r \left[-0,5[1+\mu] + f + \left(1 + \mu + \frac{2f(1+\mu)}{(1+2\mu)} \frac{z}{\sqrt{(a^2 + s^2)}} - \left(0,5 - \frac{f}{1+2\mu} \right) \frac{z^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} \right) \right]}{(12)} \end{aligned}$$

осьові:

$$\begin{aligned} \sigma_o = & \sigma_{\theta(z=h_n)}^p \frac{-0,5(1+2\mu) + \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} + \left(1 + \mu + \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} \frac{s}{(a^2 + s^2)} - \frac{0,5s^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} \right)}{0,5(1+2\mu) - \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} + \left(1 + \mu + \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} \frac{s}{(a^2 + s^2)} + \frac{0,5s^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} \right)} \end{aligned} \quad (13)$$

нормальні:

$$\begin{aligned} \sigma_n = & \sigma_{z(z=h_n)}^p \left[\left(1 - \frac{f}{(1+2\mu)} \right) \cdot \left(\frac{s^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} - 1 \right) - \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} \left(\frac{s}{\sqrt{(a^2 + s^2)}} - 1 \right) \right] - \\ & - p_r \left(1 - \frac{f}{(1+2\mu)} \right) \cdot \left(\frac{z^3}{\sqrt{(a^2 + s^2)^3}} - 1 \right) - \frac{f(1-2\mu)}{(1+2\mu)} \left(\frac{z}{\sqrt{(a^2 + s^2)}} - 1 \right), \end{aligned} \quad (14)$$

де $s = z - h_n$, мм.

Під час поверхневого пластичного деформування інструмент вступає в контакт з уже сформованою на операції чистового точіння поверхнею. В цьому випадку в зоні контакту інструмента і заготовки формуються нормальні p_{r2} і дотичні τ_{n2} напруження (рис. 1).

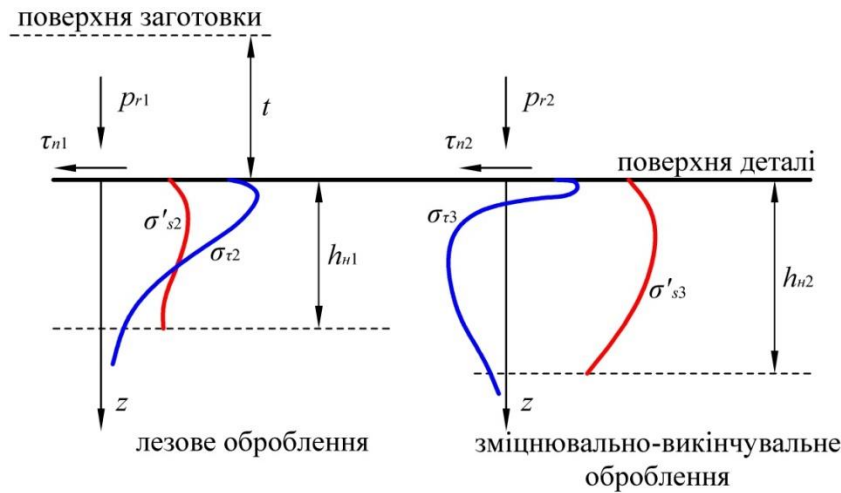


Рис. 1. Схема трансформації показників напружено-деформованого стану:
 t – глибина різання під час лезового оброблення; h_{n1} , h_{n2} – глибина зміцненого шару після токарного та зміцнювального оброблення відповідно

Під дією контактних навантажень p_{r2} і τ_{n2} в поверхневому шарі під інструментом формується поле пружних напружень σ_{z2}^e , σ_{r2}^e , $\sigma_{\theta2}^e$, величина яких розраховується аналогічно до формул (1) – (3).

Пластична деформація поверхневого шару в ході ППД відбудеться за умови, коли:

$$\tau_{\max 2}^e \geq 0,5\sigma_{T1},$$

де σ_{T1} – межа текучості зміцненого після точіння матеріалу, МПа.

Величина максимальних дотичних напружень $\tau_{\max 2}^e$ з урахуванням залишкових напружень від чистового точіння визначається як:

$$\tau_{\max 2}^e = 0,41\sqrt{\left(\left(\sigma_{z2}^e + \sigma_{n1}\right) - \left(\sigma_{r2}^e + \sigma_{\tau1}\right)\right)^2 + \left(\left(\sigma_{r2}^e + \sigma_{\tau1}\right) - \left(\sigma_{\theta2}^e + \sigma_{\sigma1}\right)\right)^2 + \left(\left(\sigma_{\theta2}^e + \sigma_{\sigma1}\right) - \left(\sigma_{z2}^e + \sigma_{n1}\right)\right)^2}.$$

Межа текучості зміцненого матеріалу σ_{T2} , МПа:

$$\sigma_{T2} = (2\tau_{\max 2}^e - \sigma_{T1})n + \sigma_{T1}.$$

Ступінь зміцнення N_2 , %, визначається за формулою:

$$N_2 = \frac{\sigma_{T2} - \sigma_{T1}}{\sigma_{T1}} \cdot 100. \quad (15)$$

Залишкові напруження складають:

– тангенціальні: $\sigma_{\tau2} = \sigma_{r2}^p - (\sigma_{r2}^e + \sigma_{\tau1}); \quad (16)$

– осьові: $\sigma_{\sigma2} = \sigma_{\theta2}^p - (\sigma_{\theta2}^e + \sigma_{\sigma1}); \quad (17)$

– нормальні: $\sigma_{n2} = \sigma_{z2}^p - (\sigma_{z2}^e + \sigma_{n1}); \quad (18)$

де σ_{r2}^p , $\sigma_{\theta2}^p$, σ_{z2}^p – радіальні, тангенціальні і нормальні напруження пластичного деформування, розраховані за формулами (6) - (8).

Отже, за результатами розрахунків визначено показники напружено-деформованого стану у вигляді залишкових напружень, які складаються з тангенціальної, радіальної та нормальної складових. Встановлено залежності ступеню зміцнення оброблюваного матеріалу від виду операції механічного оброблення.

Інформаційні джерела

1. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Дахнюк О.П., Заблоцкий В.Ю., Приступа С.О. Оцінка ефективності операцій механічного оброблення // Технологічні комплекси: науковий журнал №1(9). – Луцьк: Вид-во Луцького НТУ, 2014. – С. 127–131.
3. Заблоцкий В.Ю., Дахнюк О.П., Марчук В.І. Забезпечення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин на операціях механічного оброблення. Монографія. – Луцьк: Видавництво: «Вежа Друк», 2017. – 120с.
4. Дахнюк О.П., Заблоцкий В.Ю. Кінематичний синтез формоутворюючих рухів ріжучого інструменту в робочому просторі багатошпиндельного токарного автомата // "Перспективні технології та прилади". Збірник статей. Випуск 7. м. Луцьк, грудень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С. 42–48.
5. Дахнюк О.П., Ткачук А.А. Комбіноване зміцнювальне-викінчувальне оброблення, як засіб підвищення зносостійності спряжених поверхонь маложорстких деталей // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей IV Міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25-26 листопада 2015р.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – С. 240–241.

Заблоцкий В.Ю. к.т.н., доц., Прозоровский С.В., Селепина Й.Р. к.т.н.
Луцкий национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

В статье проведен расчет показателей напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя функциональной поверхности в ходе токарной обработки. Определены составляющие остаточных напряжений, предел текучести материала. В процессе обработки результатов построена схема трансформации показателей напряженно-деформированного состояния, установлено, что они зависят от глубины резания при лезвийной обработке и влияют на формирование величины упрочнения поверхностного слоя.

Ключевые слова: лезвийная обработка, упрочненная поверхность, токарная обработка, долговечность, трение, напряжение.

V. Zablotsky S. Prozorovsky, J. Selepyna
Lutsk National Technical University

DEFINITION OF INDICATORS STRESS-STRAIN STATE SURFACE LAYER

The article deals with the calculation of the stress-strain state of the surface layer a functional surface during the turning process. Determined components of residual stresses, the yield strength of the material. In the process of processing the results a scheme of transformation of indicators of a stress-strain state is constructed, it is established that they depend on the depth of cutting during blade processing and affect the formation of the value of the strengthening of the surface layer.

Key words: blade processing, reinforcing surface, turning processing, durability, friction, stress.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2018

УДК 621.396.9:551.508.859

Карташов В.М., Сідоров Г. І., Колендовська М.М., Шейко С.О., Шаповалов С.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки

РАДІОАКУСТИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ ВІТРУ У АТМОСФЕРНОМУ ПРИКОРДОННОМУ ШАРІ

В цій роботі пропонується радіоакустичний вимірювач швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі при випромінюванні імпульсного акустичного і безперервного радіосигналів співісними антенами тільки в вертикальному напрямку. Створення математичної моделі радіоакустичного вимірювача швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі при зондуванні в одному вертикальному напрямку для метеорологічного забезпечення авіації необхідно вимірювати швидкість вітру на різних висотах. Для вирішення цих завдань ефективним є використання систем дистанційного дослідження атмосферного прикордонного шару на основі акустичного і радіоакустичного методів.

Ключові слова: *радіоакустичний вимірювач, антена, передавач, швидкість вітру, висота, акустична система, доплерівська радіоакустична система*

У зв'язку з необхідністю забезпечення енергетичної безпеки в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, ведуться розробки альтернативних поновлюваних джерел енергії, до яких належать і високоефективні вітроенергетичні установки, які розміщуються на щоглах висотою до 100 метрів. Розміщення вітроенергетичних установок доцільно тільки в місцевостях з інтенсивними вітрами, тому при їх проектуванні та експлуатації необхідні дослідження вітрової обстановки в передбачуваних місцях розміщення. Для метеорологічного забезпечення авіації необхідно вимірювати швидкість вітру на висотах 30, 60 і 90 метрів над злітно-посадковою смугою. Для вирішення цих завдань ефективним є використання систем дистанційного дослідження атмосферного прикордонного шару на основі акустичного і радіоакустичного методів.

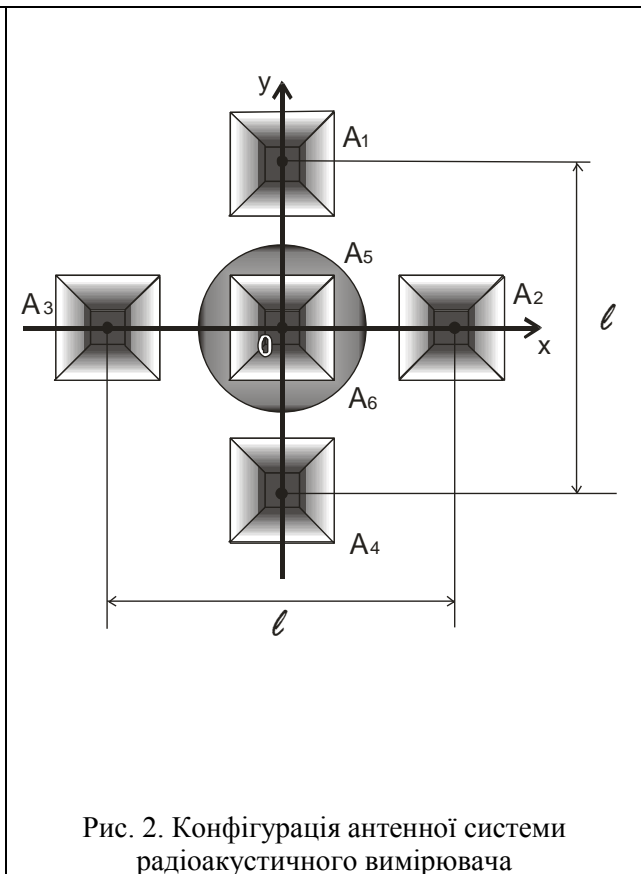
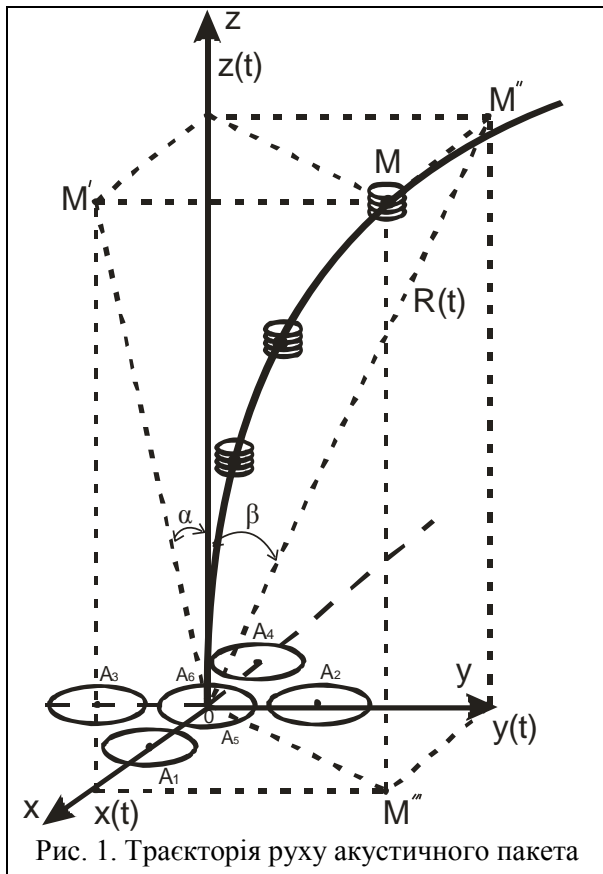
У літературі описані застосовувані для цих цілей доплерівські радіоакустичні системи [1, 2, 3]. Недоліком всіх цих систем є необхідність зондування в декількох напрямках, в результаті чого утворюються поверхні вертикального або похилого конуса з досить великим тілесним кутом, що забезпечується або сукупністю кількох радіоакустичного каналів, постійно орієнтованих в обраних напрямках, або одним каналом, при цьому діаграми спрямованості переміщуються в межах обраного конуса зондування. [4, 5, 6, 7, 8]

Нами пропонується радіоакустичний вимірювач швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі при випромінюванні імпульсного акустичного і безперервного радіосигналів співісними антенами тільки в вертикальному напрямку. Прийом відбитих від рухомої акустичної хвилі радіосигналів здійснюється чотирма приймальними антенами, розташованими в горизонтальній площині навколо передавальної антени.

Ця конфігурація радіоакустичного вимірювача запатентована одним з авторів статті Сідоровим Г.І. [8].

Метою дослідження є створення математичної моделі радіоакустичного вимірювача швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі при зондуванні в одному вертикальному напрямку. Необхідно досліджувати метод відстеження траєкторії руху акустичного пакета під впливом вітрових потоків, вимірювання на підставі цього швидкості переміщення повітряних мас. Завданням також є дослідження застосовності методу фазової радіопеленгації у вимірювачі, оцінка похибки вимірювання швидкості вітру на кожній з висот при обраних технічних характеристиках пристроїв, що входять до складу вимірювача.

У статті викладені результати дослідження можливостей радіоакустичного вимірювача по виміру повного вектора швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі, проаналізовано похибки вимірювання на різних висотах над поверхнею Землі. На рис. 1 представлена траєкторія руху випроміненого акустичного пакета з урахуванням зносу вітровими потоками, на рис. 2. представлена конфігурація розміщення передавальних і приймальних антен вимірювача на поверхні Землі.



Траекторія руху випроміненого вертикально вгору акустичного пакета під дією повітряних потоків може бути описана як переміщення кінця радіус-вектора $R(t)$, що з'єднує точку випромінювання (початок координат) з поточним місцем розташування акустичного пакета. Довжина радіус-вектора, що змінюється в часі, може бути представлена у вигляді [9].

$$R(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t) + Z^2(t)}, \quad (1)$$

А його проекції на вісі координат

$$Z(t) = \frac{R(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}, \quad (2)$$

$$X(t) = \frac{R(t) \operatorname{tg} \alpha(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}, \quad (3)$$

$$Y(t) = \frac{R(t) \operatorname{tg} \beta(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}, \quad (4)$$

де

$$\operatorname{tg} \alpha(t) = \frac{X(t)}{Z(t)}, \quad \operatorname{tg} \beta(t) = \frac{Y(t)}{Z(t)}, \quad (5)$$

З огляду на прямолінійність поширення радіохвиль довжина радіус-вектора $R(t)$ може бути обчислена за вимірюваним значенням радіальної швидкості руху пакета

$$R(t) = \int_0^t V_R(t) dt = \frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt, \quad (6)$$

де $V_R(t)$ - радіальна швидкість поширення акустичного пакета, λ_e - довжина радіохвилі, $F_D(t)$ - доплерівській зсув частоти відбитого сигналу.

Поточні значення кутів $\alpha(t)$ та $\beta(t)$ які характеризують кутове положення радіус-вектора $R(t)$ в площинах XOZ і YOZ , містяться в сигналах, що формуються взаємопов'язаними приймальними антенами $A1, A2, A3, A4$ внаслідок співвісного опромінення безперервним радіосигналом акустичного імпульсу, що випромінює вертикально вгору.

Передавальна радіоантена $A5$ і акустична антена $A6$ використовують один загальний параболічний відбивач і співвісні випромінювачі, розміщені в фокусі спільного параболічного дзеркала, проекція яких на площину XOY збігається з початком координат, а електричні вісі - з напрямком осі OZ . Приймальні антени $A1-A4$ розташовані таким чином, що їх геометричні центри знаходяться на координатних вісях OX та OY ($A1$ і $A4$ на вісі OY , $A2$ та $A3$ на вісі OX) на рівних відстанях від початку координат ($OA1=OA2=OA3=OA4=l/2$, де l – база пеленгатора в складі радіоакустичного вимірювача).

Величина l є одним з найбільш істотних параметрів системи, оскільки вона визначає крутизну її пеленгаційної характеристики (точність визначення кута), а також неоднозначність вимірювань, викликану набігом фази, кратним 2π . Тому можна стверджувати, що мінімальна величина бази l обмежена розмірами d_t суміщених дзеркальних акустичної та радіопередавальної антен ($l > l_{\min} = d_t$), а максимальна її величина обмежена відстанню, при якому ще забезпечується однозначність вимірювань $l < l_{\max}$. Величина l_{\max} в площині XOY [10]:

$$l_{\max} = \frac{\Delta\varphi\lambda_e}{2\pi \sin \alpha_{\min}}, \quad (7)$$

при $\Delta\varphi = 2\pi$

$$l_{\max} = \lambda_e / \sin \alpha_{\min}. \quad (8)$$

Звідси видно, що при заданій довжині хвилі λ_e величина l_{\max} визначається мінімальним вимірюваним кутом α_{\min} . У разі радіоакустичного зондування величина α_{\max} – це максимально можливе відхилення центру акустичного пакета за рахунок знесення його горизонтальним вітром. Шляхом нескладних геометричних побудов можна визначити, що навіть при дуже сильному вітрі 30 м / с (108 км / ч), постійному по висоті зондування, відхилення пакету в одній площині не перевищить 6 градусів ($\alpha \approx \text{tg}\alpha = V_x / V_s \approx 0,1 \text{ rad} \approx 6^\circ$).

В цьому випадку $l_{\max} = 10\lambda_e$. При значенні $V_x = 5 \text{ м/с}$ $l_{\max} = 60\lambda_e$.

Діаметр відбивачів радіопередавальної та акустичної дзеркальних антен визначається перш за все необхідною шириною діаграми спрямованості на рівні $\theta_{0,5}$ половинної потужності. Необхідно, щоб навіть при максимальному знесенні пакета вітром центр його завжди знаходився в межах ширини діаграми спрямованості передавальної радіоантени і завжди опромінювався електромагнітної енергією. Логічно тому покласти, що $\theta_{0,5e} = 2\alpha_{\max} \approx 12^\circ$.

При використанні одного і того ж параболічного відбивача для передавальної акустичної антени $\theta_{0,5a} = 6^\circ$. Таке співвідношення між діаграмами спрямованості акустичної та радіоантен вибрано з метою максимальної концентрації енергії. Виходячи зі співвідношення

$$\theta_{0,5e} \approx 60\lambda_e / d_t. \quad (9)$$

Отримаємо:

$$d_t \approx 60\lambda_e / \theta_{0,5e} = 60\lambda_e / 12 = 5\lambda_e.$$

Ширина діаграм спрямованості приймальних радіоантен не є суттєвим параметром, оскільки при фазовому методі пеленгації спрямовані властивості антен не використовуються для отримання пеленгаційної характеристики. Ідентичні діаграми спрямованості приймальних антен повинні перекривати робочу зону системи, а також забезпечувати мінімальну мертву зону на початковій ділянці траєкторії акустичного пакета.

При ширині діаграм спрямованості приймальних антен 30 градусів протяжність мертвої зони дорівнює $20d_t = 10\lambda_e$. При цьому діаметри дзеркальних приймальних антен дорівнюватимуть $d_t = 2\lambda_e$.

Виміряні значення $F_D(t)$, $\alpha(t)$ та $\beta(t)$ надходять в обчислювальний блок, де обчислюються складові швидкості горизонтального вітру за формулами:

$$V_x(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\left[\frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right), \quad (10)$$

$$V_y(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\left[\frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt \right] \cdot \operatorname{tg} \beta(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right), \quad (11)$$

Цікавим є оцінка похибки вимірювань описаним радіоакустичним вимірником. Відповідно до теорії непрямих вимірювань, якщо вимірювана величина Y є функція багатьох змінних x_i , то середньоквадратична помилка може бути обчислена за формулою [11]:

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2}, \quad (12)$$

В даному випадку середньоквадратичне похибка вимірювання швидкості вітру

$$\sigma_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial \lambda_e} \right)^2 \sigma_{\lambda_e}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial F_D} \right)^2 \sigma_{F_D}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \alpha} \right)^2 \sigma_{\alpha}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \beta} \right)^2 \sigma_{\beta}^2}, \quad (13)$$

З урахуванням (10, 11) середньоквадратична похибка вимірювання складових швидкості V_x та V_y

$$\sigma_{V_x} = \sqrt{\frac{F_D^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{4(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)} \cdot \sigma_{\lambda_e}^2 + \frac{\lambda_e^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{4(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)} \cdot \sigma_{F_D}^2 + \frac{\lambda_e^2 F_D^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta)^2}{4 \cos^4 \alpha (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)^3} \cdot \sigma_{\alpha}^2 + \frac{\lambda_e^2 F_D^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta}{4 \cos^4 \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)^3} \cdot \sigma_{\beta}^2}, \quad (14)$$

$$\sigma_{V_y} = \sqrt{\frac{F_D^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{4(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)} \cdot \sigma_{\lambda_e}^2 + \frac{\lambda_e^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{4(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)} \cdot \sigma_{F_D}^2 + \frac{\lambda_e^2 F_D^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta}{4 \cos^4 \alpha (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)^3} \cdot \sigma_{\alpha}^2 + \frac{\lambda_e^2 F_D^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^2}{4 \cos^4 \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta)^3} \cdot \sigma_{\beta}^2}, \quad (15)$$

Потенційна сумарна середньоквадратична похибка вимірювань визначається потенційними середньоквадратичними похибками вимірювань кутів α та β , доплерівської частоти F_D і стабільності довжини електричної хвилі λ_e . Значення цих похибок є функціями вимірюваних величин і співвідношення сигнал / шум. В роботі [1] наведені значення

потенційних похибок σ_{F_D} та σ_{λ_e} , які реалізуються в різних системах радіоакустичного зондування: $\sigma_{F_D}^2 = 10^{-4} \Gamma\mu^2$, $\sigma_{\lambda_e}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$.

Потенційна середньоквадратична помилка вимірювання кутових координат фазовим методом [10], наприклад для кута α

$$\sigma_{P\alpha} = \frac{\lambda_e}{2\pi l \cos \alpha \sqrt{q}}, \quad (16)$$

де q – відношення сигнал / шум по потужності.

Визначимо значення середньоквадратичних помилок для випадків мінімального і максимального відхилень траєкторії руху акустичного пакета від вертикалі при мінімальному і максимальному значеннях горизонтального вітру (1 ... 30 м / с), тоді $\alpha_{\min} = 0,003 \text{ рад}$, $\alpha_{\max} = 0,09 \text{ рад}$. приймаємо значення $l / \lambda_e = 50$, $q = 25$. В цьому випадку

$$\sigma_{\alpha} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,9998 \cdot \sqrt{25}} \approx 0,0006 \text{ рад} \approx 0,036^\circ;$$

$$\sigma_{\beta} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,9942 \cdot \sqrt{25}} \approx 0,0006 \text{ рад} \approx 0,036^\circ.$$

Значення похибок вимірювань постійні у всій робочій зоні і не залежать від кутових координат положення пакету в робочій зоні.

Для прикладу задавши значення довжини хвилі $\lambda_e = 0,5 \text{ м}$, доплерівського зсуву частоти $F_D = 1368 \text{ Гц}$, кутів зносу пакету в площинах XOZ та YOZ $\alpha = \beta = 2^\circ$ з урахуванням раніше обчислених значень потенційних похибок σ_{λ_e} , σ_{F_D} , σ_{α} , σ_{β} отримаємо

$$\sigma_{V_x} = \sqrt{5,68 \cdot 10^{-6} + 7,6022 \cdot 10^{-9} + 0,0419728 + 0,061956 \cdot 10^{-6}} = 0,20488 \text{ м/с.}$$

$$\sigma_{V_y} = \sqrt{5,68 \cdot 10^{-6} + 7,6022 \cdot 10^{-9} + 0,061956 \cdot 10^{-6} + 0,0419728} = 0,20488 \text{ м/с.}$$

Цікавим є аналіз сумарних потенційних похибок вимірювання складових швидкості горизонтального вітру в усьому досліджуваному діапазоні висот від 10 м до 380 м. Для цього спочатку необхідно дослідити залежність співвідношення сигнал / шум від дальності зондування (висоти підйому акустичного пакета).

У радіолокаційних системах фазовий фронт хвилі, опромінюючої об'єкт, приймається пласким в межах відстаней, на яких формується відбитий сигнал. Вимога плаского фазового фронту хвилі в радіолокації визначає синфазність збудження вторинних джерел на поверхні об'єкта, що спостерігається, а в системах радіоакустичного зондування виконання такої вимоги забезпечується геометричним розташуванням акустичної та радіоантен в безпосередній близькості одна від одної, а в нашому випадку загальним рефлектором. В результаті сферичні фронти акустичної та радіохвиль практично збігаються і фактично виконуються вимоги, що пред'являються в радіолокації при опроміненні точкових об'єктів.

В якості вихідного співвідношення, за допомогою якого може бути обчислено співвідношення сигнал / шум, використовуємо формулу для потужності прийнятого сигналу P_r [2]:

$$P_r = G_t \cdot G_r \cdot G_s \cdot B \cdot N^2 \cdot P_e \cdot P_s \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{-0,1 \cdot \delta \cdot R}}{R^2}, \quad (17)$$

де P_r – потужність прийнятого радіосигналу, Вт; P_s – випромінювана акустична потужність, Вт; N – число довжин хвиль в акустичному пакеті; θ – найменший з кутів розкриття діаграм спрямованості акустичної та радіо антен, град; R – дальність зондування, м; δ – коефіцієнт ослаблення (по потужності) акустичної хвилі, дБ/м; B – коефіцієнт, який визначається точністю виконання умови Брегга в межах пакету, в граничному випадку $B = 1$; G_t – коефіцієнт

підсилення передавальної радіоантени; G_r – коефіцієнт підсилення приймальної радіоантени; G_s – коефіцієнт підсилення акустичного випромінювача.

Коефіцієнт класичного поглинання звуку, обумовленого в'язкістю і теплопровідністю повітря, визначається формулою

$$\alpha_s = \frac{53,54 \cdot \eta \cdot f_s^2}{p \cdot C_s}, \text{ м}^{-1}, \quad (18)$$

де η – в'язкість повітря; p – атмосферний тиск; C_s – швидкість звуку; f_s – частота звуку.

Для звичайних атмосферних умов кількісна оцінка коефіцієнта поглинання може бути отримана з наступного співвідношення:

$$\alpha_s \approx 4,24 \cdot 10^{-11} f_s^2, \text{ м}^{-1}, \quad (19)$$

де $f_s = c_s / \lambda_s$, $c_s = 332 \text{ м/с}$, $\lambda_s = 0,25 \text{ м}$, $f_s = 1328 \text{ Гц}$.

Величина погонного загасання акустичної хвилі δ (дБ/м) може бути отримана з формули:

$$\delta = 10\alpha_s \lg e. \quad (20)$$

Для високоточних вимірювань параметрів відбитого радіосигналу необхідно мати співвідношення сигнал / шум на вході приймача не менше 30 ... 40 дБ. Потужність шумів в приймачі визначається за формулою:

$$P_n = k \cdot T \cdot \Delta f (K_n - 1) \cdot k_R. \quad (21)$$

де K_n – коефіцієнт шуму приймача; Δf – ефективна ширина смуги пропускання; T – робоча температура; k_R – коефіцієнт запасу; k – постійна Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

При $K_n = 3$, $k_R = 5$, $T = 300 \text{ К}$ отримуємо $P_n = 4,14 \cdot 10^{-19} \text{ Вт}$.

Коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен визначаються за формулою

$$G_t = G_r = G_s = \frac{25000}{\theta^\circ}, \quad (22)$$

де θ – кут розкриття антени в градусах.

За вищенаведеними формулами виконані оціночні розрахунки енергетичного потенціалу системи радіоакустичного зондування при наступних технічних характеристиках системи:

$N = 30$, $B = 1$, $\theta_q = 6^\circ$, $\theta_e = 12^\circ$, $r = 30, 60 \dots 300 \text{ м}$, $P_e = 5 \text{ Вт}$, $P_s = 25 \text{ Вт}$,

$G_t = 25000 / 12^\circ = 2083,333$, $G_r = 25000 / 20^\circ = 1250$,

$G_s = 25000 / 6^\circ = 4166,667$. Розрахуємо α_s та δ згідно (21) і (22):

$\alpha_s = 4,24 \cdot 10^{-11} \cdot 1328^2 = 7,47 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$,

$\delta = 10 \cdot 7,47 \cdot 10^{-5} \cdot 0,43 = 3,32 \cdot 10^{-4} \text{ (дБ/м)}$.

Результати розрахунків відношення сигнал / шум, яке позначимо як $q = P_r / P_n$. На рис. 3 наведені результати аналізу середньоквадратичної похибки вимірювання швидкості вітру в діапазоні висот 0 ... 100 м, розрахованої за формулами (14-15).

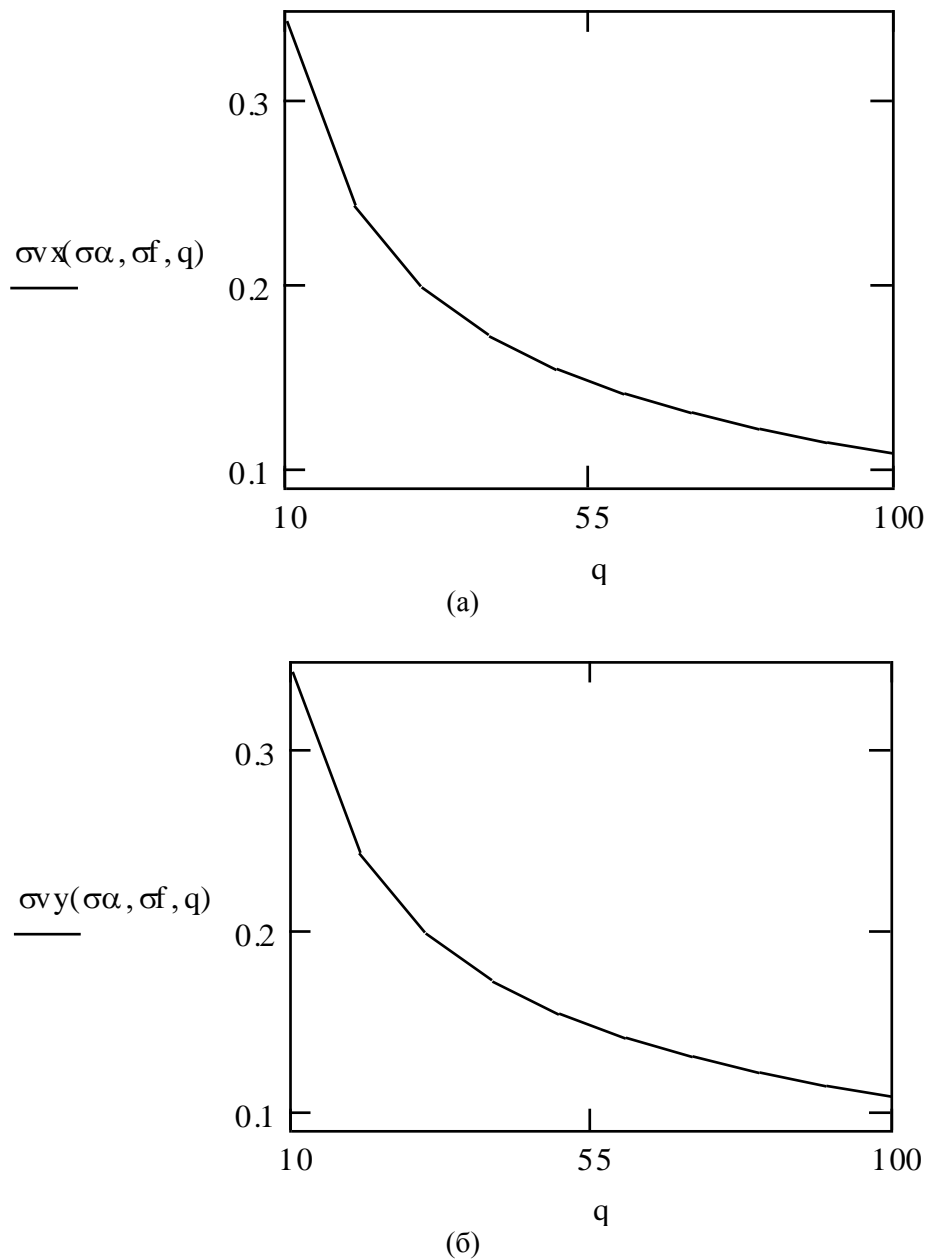


Рис. 3. Залежності σ_{v_x} (а) та σ_{v_y} (б) від відносини сигнал / шум

Аналіз отриманих залежностей показує, що даний радіоакустичного вимірювач швидкості вітру в атмосферному приземному шарі задовольняє вимогам автоматизованих систем управління повітряним рухом в зоні аеропорту, забезпечуючи вимірювання горизонтального вітру з допустимими похибками.

Аналіз отриманих залежностей показує, що запропонований спосіб визначення зсуву горизонтальних складових швидкості вітру при вертикальному радіоакустичного зондуванні при обумовлених вище технічних параметрах забезпечує допустимі значення потенційних середньоквадратичних похибок у разі одноразового зондування при співвідношеннях сигнал / шум не менше 20, що відповідає висотам до 62 м. Для забезпечення вимірювань до висот 100 м при малих відносинах сигнал / шум необхідно проводити багаторазове зондування і, вважаючи розподіл помилок вимірювань нормальним, усереднювати отримані результати. При цьому, як відомо, середньоквадратична похибка вимірювань зменшується в, N разів де N - кількість вимірювань. Як видно із зіставлення малюнків 3 і 4, для вимірювань на висоті 100 м кількість зондувань повинно бути не менше 6.

Отже, розглянута радіоакустична система вертикального зондування задовольняє вимогам автоматизованих систем управління повітряним рухом в зоні аеропорту, забезпечуючи вимірювання горизонтального вітру і його вертикального зсуву з допустимими похибками.

У статті авторами сформульовані і вирішені такі наукові завдання:

1. Розроблено математичні моделі антенного блоку радіоакустичного вимірювача. Обґрунтовано технічні характеристики передавальної і приймальної антен, що забезпечують вимірювання координат акустичного пакета в зоні спостереження.

2. Розроблено методику вимірювання координат акустичного пакету, що рухається вгору і переміщується під дією вітру у всій зоні спостереження, і обчислення з використанням цих даних компонент швидкості вітру.

3. Запропоновано методику обчислення сумарної середньоквадратичної похибки вимірювань компонент вектора швидкості вітру з урахуванням зміни і технічних характеристик вимірювача, а також нестабільності метеорологічних характеристик атмосферного приземного шару.

4. За отриманими формулами виконані розрахунки відносних середньоквадратичних похибок вимірювання горизонтального вітру і залежність похибок від висоти досліджуваного шару. Наведено графіки залежностей. Показано, що до висот 100 метрів вимірювання можуть бути виконані з задовільними похибками.

Література

1. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли. Под ред. Б.Л. Кашеева, Е.Г. Прошкина, М.Ф. Лагутина. Глава 2. Радиоакустическое зондирование пограничного слоя атмосферы. – Харьков: ХНУРЭ, 2002. – С. 49-100.

2. Каллистратова, М.А. Радиоакустическое зондирование атмосферы [Текст] / М.А. Каллистратова, А.И. Кон. – М.: «Наука», 1985. –187 с.

3. Angevine, W.M. Improved radio acoustic sounding techniques [Text]/ W.M. Angevine, W.L. Ecklund, D.A. Carter, K.S. Gage, K.P. Moran // J. of Atmos. Oceanic Technol. - 1994. - Vol.11, №2. – P.121-127.

4. Vaisala AviMet® Automated Weather Observing System [Electronic resource] // Vaisala. – Electronic data. – [S. l.], 2016. – URL: <http://www.vaisala.com/en/products/aviationweathersystems/Pages/icaoawos.aspx> (access date: 01.08.2016).

5. Humidity sensor HIH-4206-A/C [Electronic resource] // Honeywell. – Electronic data. – Minneapolis, 2007. – URL: http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=51480 (access date: 01.08.2016).

6. Balis D.S. An update on the dynamically induced episodes of extreme low ozone values over the northern middle latitudes // Int. J. Remote Sensing. – 2011. – Vol. 32, No. 24. – P. 9197–9205.

7. Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated, and Calibrated. MPXV4115V Series Integrated pressure sensor [Electronic resource] : technical data // NXP. – Electronic data. – Eindhoven, 2012. – URL: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV4115V.pdf (access date: 01.08.2016).

8. Авторское свидетельство СССР №1689899 от 8 июля 1991 г. «Радиоакустическое устройство для измерения сдвига ветра». Авторы: Сидоров Г.И. и др

9. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

10. Белоцерковский, Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства [Текст] / Г.Б. Белоцерковский. – М.: «Сов. радио», 1975. – 336 с.

11. Зейдель, А. Н. Ошибки измерения физических величин [Текст] / А. Н. Зейдель. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.

Карташов В.М., Сидоров Г.И., Колендовская М.М., Шейко С.А., Шаповалов С.В.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

РАДИОАКУСТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ВЕТРА В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

В этой работе предлагается радиоакустического измеритель скорости ветра в атмосферном пограничном слое при излучении импульсного акустического и непрерывного радиосигналов соосными антеннами только в вертикальном направлении. Створення математической модели радиоакустического измерителя скорости ветра в атмосферном пограничном слое при зондировании в одном вертикальном направлении для метеорологического обеспечения авиации необходимо измерять скорость ветра на различных высотах. Для решения этих задач эффективным является использование систем дистанционного исследования атмосферного пограничного слоя на основе акустического и радиоакустического методов.

Ключевые слова: радиоакустического измеритель, антенна, передатчик, скорость ветра, высота, акустическая система, доплеровская радиоакустического система

Kartashov V.M, Sidorov G.I., Kolendovska M.M, Sheiko S.O, Shapovalov S.V.
Kharkiv National University of Radioelectronics

RADIOACOUSTIC DEVISE FOR MEASURING WIND SPEED IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

This work offers radioacoustic devise for measuring wind speed in the atmospheric boundary layer by radiating pulsed acoustic and continuous radiosignal of co-existing aerals only in the vertical direction. The creating of a mathematical model of radioacoustic devise for measuring wind speed in the atmospheric boundary layer by searching in one vertical direction for meteorological support of aviation is necessary to measure the wind speed at different heights. To solve these problems, it is effective to use systems of remote study of the atmospheric boundary layer on the basis of acoustic and radioacoustic methods.

Keywords: radioacoustic devise, aerial, transfer, wind speed, height, acoustic system, doppler radioacoustic system.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2018

УДК 006.

Кириленко Л. В.

Провідний інженер відділу стандартизації та метрології

Технічний центр Національної академії наук України

РЕАЛІЗАЦІЯ В УКРАЇНІ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ З ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Проведено аналіз і дослідження запровадженної системи оцінки відповідності засобів виміральної техніки (ЗВТ), яка замінює "непрозорі схеми" державних приймальних і контрольних випробувань та державної метрологічної атестації ЗВТ. Переваги системи оцінки відповідності ЗВТ будуються на основних положеннях і вимогах директиви ЄС 2014/32/EU з використанням наявних у ній модулів оцінки відповідності ЗВТ, зокрема, щодо схвалення типу і первинної повірки. Показано, що таким чином, замінюються раніше існуючі процедури і поняття: "державні випробування ЗВТ", "державна метрологічна атестація ЗВТ", "державний метрологічний контроль".

Стаття присвячена проблемам, які виникли у вітчизняних фахівців з метрологічної діяльності, працівників підприємств та установ, пов'язаних із виробництвом, постачанням та експлуатацією ЗВТ. Проблема посилюється тим, що ліквідація системи державних випробувань ЗВТ і впровадження нової системи контролю їх характеристик зумовили у фахівців з метрологічної діяльності певні непорозуміння.

Ключові слова: оцінка відповідності, засоби виміральної техніки, метрологічна діяльність, система оцінки відповідності ЗВТ, технічний регламент, орган з оцінки відповідності, модулі оцінки відповідності, процедури оцінки відповідності.

Вступ. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1] в новій редакції, нововведення якого важливі для нашої країни набрав чинності 01.01.2016. Основною метою цього Закону є приведення діючої нормативної бази у відповідність з європейським законодавством та виправлення розбіжностей в сфері технічного законодавства, які мали місце раніше. Запроваджена система оцінки відповідності ЗВТ, яка відповідає європейським принципам та підходам. Новий підхід став поштовхом удосконалення оцінки відповідності шляхом залучення законодавчих органів ЄС до аналізу впливу різноманітних механізмів оцінки.

Мета роботи. Зважаючи на те, що до 2016 року у сфері метрологічної діяльності взагалі не існувало терміна «оцінка відповідності» необхідно надати бачення основних понять та положень оцінки відповідності. Метою прийняття технічних регламентів є захист життя та здоров'я людей, охорона довкілля та природних ресурсів, забезпечення енергоефективності, захист майна, забезпечення національної безпеки та запобігання підприємницькій практиці, що вводить споживача (користувача) в оману.

Викладення основного матеріалу. В Україні встановлені вимоги, яким повинні відповідати ЗВТ, що призначені для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, коли вони надаються на ринку та/або вводяться в експлуатацію для виконання завдань, пов'язаних з вимірюваннями [2]. Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [3] визначені терміни, які вживаються в такому значенні:

оцінка відповідності - процес доведення того, що визначені вимоги, які стосуються продукції, процесу, послуги, системи, особи чи органу, були виконані;

орган з оцінки відповідності - підприємство, установа, організація чи їх структурний підрозділ, що здійснює діяльність з оцінки відповідності, включаючи випробування, сертифікацію та інспектування;

модуль оцінки відповідності - уніфікована процедура оцінки відповідності чи її частина, визначена згідно з відповідним актом законодавства Європейського Союзу.

Оцінка відповідності законодавчо регульованих ЗВТ вимогам технічних регламентів, у тому числі первинна повірка та затвердження типу ЗВТ, проводиться у разі, коли це передбачено технічними регламентами.

На сьогодні в Україні діють три технічні регламенти, вимоги яких поширюються виключно на ЗВТ:

• **Технічний регламент щодо неавтоматичних зважувальних приладів**, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 16.12.2015 №1062 (розроблений на основі Директиви 2014/31/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів ЄС стосовно надання на ринку неавтоматичних зважувальних приладів);

• **Технічний регламент засобів вимірювальної техніки**, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 р. № 163 (розроблений на основі Директиви 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 року про гармонізацію законодавства держав-членів ЄС стосовно надання на ринку засобів вимірювальної техніки);

• **Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки**, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 р. № 94 [4] (поширюється на засоби вимірювальної техніки, що ввійшли до Переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, але не зазначені в директивах 2014/31/ЄС та 2014/32/ЄС).

В Україні, як і в Європейському Союзі, *впроваджено* модульний підхід при проведенні оцінки відповідності. Кабінет Міністрів України затверджує модулі оцінки відповідності, які використовуються відповідними центральними органами виконавчої влади для розроблення процедур оцінки відповідності, та правила використання модулів оцінки відповідності. Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності» [4] затверджено:

- модулі оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності;

- правила використання модулів оцінки відповідності.

Ця постанова видана на виконання статті 14 Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [3].

Вище зазначений Закон визначає правові та організаційні засади розроблення, прийняття та застосування технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінки відповідності.

Для розроблення процедур оцінки відповідності використовуються модулі, які затверджені Постановою Кабінету Міністрів України [2].

Модулі оцінки відповідності застосовуються як процедури оцінки відповідності в разі посилання на них у відповідних технічних регламентах.

Існує вісім модулів (названі літерами від А до Н). Вони встановлюють обов'язки виробника (та/або його уповноваженого представника) та ступінь залучення власної акредитованої лабораторії або призначеного органу з оцінки відповідності.

Процедури оцінки відповідності (табл. 1) охоплюють як стадію проектування, так і стадію виробництва продукції. Вони складаються з одного або двох модулів. Деякі модулі охоплюють обидві стадії і проектування і виробництва продукції. В інших випадках для кожної стадії використовуються окремі модулі.

Таблиця 1

Процедури оцінки відповідності

Літера назви Модуля	Процедури оцінки відповідності
А (внутрішній контроль виробництва)	Внутрішній контроль виробництва є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 2-5 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї. <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Виробник самостійно здійснює всі перевірки для забезпечення відповідності продукції вимогам законодавства
А1 (внутрішній контроль виробництва з проведенням випробувань)	Внутрішній контроль виробництва з проведенням випробувань продукції під наглядом є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 8-12 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.

продукції під наглядом)	<ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • А + випробування щодо конкретних аспектів продукції
А2 (внутрішній контроль виробництва з проведенням перевірок продукції під наглядом через певні інтервали часу)	<p>Внутрішній контроль виробництва з проведенням перевірок продукції під наглядом через певні інтервали часу є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 15-19 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • А + перевірки продукції через випадкові інтервали часу
В (експертиза типу)	<p>Експертиза типу є тією частиною процедури оцінки відповідності, в якій призначений орган досліджує технічний проект продукції та перевіряє і засвідчує, що технічний проект такої продукції відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Проектування
С (відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва)	<p>Відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 32-34 Постанови [2], та гарантує і заявляє, що відповідна продукція відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідuje за В) • Виробник самостійно здійснює всі перевірки для забезпечення відповідності продукції типу
С1 (відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва з випробуваннями продукції під наглядом)	<p>Відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва з проведенням випробувань продукції під наглядом є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 37-40 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідuje за В) • С + випробування щодо конкретних аспектів продукції
С2 (відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва з проведенням перевірок продукції під наглядом через певні інтервали часу)	<p>Відповідність типові на основі внутрішнього контролю виробництва з проведенням перевірок продукції під наглядом через певні інтервали часу є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 43-46 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідuje за В) • С + перевірки продукції через випадкові інтервали часу
Д (відповідність типові на основі забезпечення якості виробничого процесу)	<p>Відповідність типові на основі забезпечення якості виробничого процесу є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 49, 59 і 60 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідuje за В)

	<ul style="list-style-type: none"> • Забезпечення якості для виготовлення та контролю готової продукції
D1 (забезпечення якості виробничого процесу)	<p>Забезпечення якості виробничого процесу є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 65, 67, 77 і 78 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.</p>
E (відповідність типові на основі забезпечення якості продукції)	<p>Відповідність типові на основі забезпечення якості продукції є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 83, 93 і 94 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідє за В) • Забезпечення якості готової продукції (=виробництво без стадії виготовлення) • Як D без частини системи якості, яка фокусується на процесі виготовлення
E1 (забезпечення якості контролю та проведення випробувань готової продукції)	<p>Забезпечення якості контролю та проведення випробувань готової продукції є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 99, 101, 111 і 112 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Забезпечення якості готової продукції (=виробництво без стадії виготовлення) • Як D1 без частини системи якості, яка фокусується на процесі виготовлення • Використовується як E без модуля В (без типу)
F (відповідність типові на основі перевірки продукції)	<p>Відповідність типові на основі перевірки продукції є тією частиною процедури оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 117, 121, 125 і 126 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція, до якої було застосовано положення пункту 118 цих модулів, відповідає типові, описаному в сертифікаті експертизи типу, та вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеної продукції.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (слідє за В) • Експертиза продукції з метою забезпечення типові • Як C2, але нотифікований орган проводить детальніші перевірки продукції
F1 (відповідність на основі перевірки продукції)	<p>Відповідність на основі перевірки продукції є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 130, 131, 135, 138 і 139 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність про те, що відповідна продукція, до якої було застосовано положення пункту 132 цих модулів, відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Дослідження продукції з метою забезпечення відповідності вимогам законодавства • Використовується як F без модуля В (без типу)
G (відповідність на основі)	<p>Відповідність на основі перевірки одиниці продукції є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 143, 144, 146 і 147</p>

перевірки одиниці продукції)	Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідний виріб, до якого було застосовано положення пункту 145 [2], відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до зазначеного виробу. <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Перевірка кожної окремої одиниці продукції для забезпечення відповідності вимогам законодавства (без типу)
Н (відповідність на основі цілковитого забезпечення якості)	Відповідність на основі цілковитого забезпечення якості є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 150, 160 і 161 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї. <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Цілковите забезпечення якості • Без типу
Н1 (відповідність на основі цілковитого забезпечення якості з експертизою проекту)	Відповідність на основі цілковитого забезпечення якості з експертизою проекту є процедурою оцінки відповідності, за допомогою якої виробник виконує обов'язки, встановлені в пунктах 166, 183 і 184 Постанови [2], та гарантує і заявляє під свою виключну відповідальність, що відповідна продукція відповідає вимогам технічного регламенту, що застосовуються до неї. <ul style="list-style-type: none"> • Проектування + виробництво • Цілковите забезпечення якості з експертизою проекту для забезпечення відповідності вимогам законодавства • Без типу, але із сертифікатом експертизи проекту • Як модуль Н з видачею сертифіката експертизи проекту

Модулі оцінки відповідності дають законодавцеві можливість встановити відповідні процедури, за допомогою яких виробники мають можливість продемонструвати відповідність продукту вимогам технічних регламентів щодо типу продукції та відповідних ризиків.

Оцінку відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів проводять призначені органи з оцінки відповідності. Призначення органів з оцінки відповідності здійснює центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику в сфері метрології та метрологічної діяльності.

На сьогодні центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику в сфері метрології та метрологічної діяльності є Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, який своїми наказами призначає органи з оцінки відповідності ЗВТ.

Оцінку відповідності законодавчо регульованих ЗВТ вимогам технічних регламентів проводять виробники цих засобів, призначені органи з оцінки відповідності та інші суб'єкти, визначені у відповідних технічних регламентах або передбачених ними процедурах оцінки відповідності.

Регулювання відносин, що виникають у зв'язку з розробленням та прийняттям технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінки відповідності, їх застосуванням стосовно продукції, яка вводиться в обіг, надається на ринку або вводиться в експлуатацію в Україні, а також здійснення добровільної оцінки відповідності, визначено у Законі «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [3].

Законодавчо регульовані ЗВТ дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та в продаж і видавати напрокат лише за умови їх відповідності Законам [1,3] та іншим нормативно-правовим актам, що містять вимоги до таких засобів виміральної техніки.

Оцінка відповідності ЗВТ, які не застосовуються в сфері законодавчо регульованої метрології, проводиться на добровільних засадах [1].

Як результат, українська економіка забезпечить зростання експорту більш цінної та якісної продукції, доходів і зборів та підвищить рівень інвестицій для забезпечення захисту українських споживачів та експортерів.

Висновки. Підсумовуючи наведене вище, можна зазначити, що реалізація в Україні європейських підходів з оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки є ще одним кроком із гармонізації національної системи метрології та метрологічної діяльності з європейськими підходами та принципами, що сприятиме забезпеченню необхідного рівня захищеності кожного громадянина та суспільства у цілому від небезпечної продукції та наслідків недостовірних вимірювань, підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних ЗВТ та усуненню технічних бар'єрів у торгівлі.

Інформаційні джерела

1. Україна. Закони. Про метрологію та метрологічну діяльність [Електронний ресурс] : закон України від 05.06.2014 № 1314–VII. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18> (дата звернення: 17.10.2017). — Назва з екрана.

2. Україна. Кабінет Міністрів. Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки: постанова від 13.01.2016 № 95

3. Україна. Закони. Про технічні регламенти та оцінку відповідності [Електронний ресурс] : закон України від 15.01.2015 № 124–VIII. — Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/124-19> (дата звернення: 17.10.2017). — Назва з екрана.

4. Україна. Кабінет Міністрів. Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності: постанова від 13.01.2016 № 94

Кириленко Л. В.

Ведущий инженер отдела стандартизации и метрологии
Технический центр Национальной академии наук Украины

РЕАЛИЗАЦИЯ В УКРАИНЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ПОДХОДА ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Проведен анализ и исследование введенной системы оценки соответствия средств измерительной техники (СИТ), которая заменяет "непрозрачные схемы" государственных приемочных и контрольных испытаний и государственной метрологической аттестации СИТ. Преимущества системы оценки соответствия СИТ строятся на основных положениях и требованиях директивы ЕС 2014/32 / EU с использованием имеющихся в ней модулей оценки соответствия СИТ, в частности, одобрение типа и первичной поверки. Показано, что таким образом, заменяются ранее существующие процедуры и понятия: "государственные испытания СИТ", "государственная метрологическая аттестация СИТ", "государственный метрологический контроль".

Статья посвящена проблемам, которые возникли у отечественных специалистов по метрологической деятельности, работников предприятий и учреждений, связанных с производством, поставкой и эксплуатацией СИТ. Проблема усугубляется тем, что ликвидация системы государственных испытаний СИТ и внедрение новой системы контроля их характеристик обусловили у специалистов по метрологической деятельности неопределенность.

Ключевые слова: оценка соответствия, средства измерительной техники, метрологическая деятельность, система оценки соответствия СИТ, технический регламент, орган по оценке соответствия, модули оценки соответствия, процедуры оценки соответствия.

L. Kyrylenko

Leading engineer of the department of standardization and metrology
Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine

IMPLEMENTATION IN UKRAINE OF THE EUROPEAN APPROACH TO EVALUATE THE CONFORMITY OF MEANS OF MEASURING EQUIPMENT

The analysis and research of the introduced system of conformity assessment of measuring equipment (FVT), which replaces "non-transparent schemes" of state acceptance and control tests and

state metrological certification of FTA, has been carried out. The benefits of the FTA compliance assessment system are based on the main provisions and requirements of the EU Directive 2014/32 / EU, using its modules for assessing compliance with the FTA, in particular with regard to type approval and primary verification. It is shown that in this way, earlier existing procedures and concepts are replaced: "state tests of the FTA", "state metrological certification of the FTA", "state metrological control".

The article is devoted to problems that arose in domestic specialists in metrological activity, employees of enterprises and institutions associated with the production, supply and operation of the FTA. The problem is compounded by the fact that the elimination of the system of state tests of the FTA and the introduction of a new system for monitoring their characteristics has caused certain misunderstandings among metrology specialists.

Keywords: *conformity assessment, means of measuring equipment, metrological activity, system of conformity assessment of the FTA, technical regulations, conformity assessment body, conformity assessment modules, conformity assessment procedure.*

Стаття надійшла до редакції 21.10.2018

УДК 681.2.08

Кісіль Т.Ю., к.т.н., доц., Куницька Л.Г., к.т.н., доц., Туз В.В., к.т.н., доц.
Черкаський державний технологічний університет

ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОНЦЕНТРАТОРІВ В П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ВІСКОЗИМЕТРАХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПЛОМБУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ В СТОМАТОЛОГІЇ

***Анотація.** В роботі проведено дослідження процесу контролю в'язкості пломбувальної суміші за допомогою п'єзоелектричних віскозиметрів з ультразвуковими коливальними системами для підвищення потужності коливального процесу а, отже, розширення діапазону та підвищення точності вимірювання. Наведено конструкцію пристрою, що реалізує запропоноване і проведено комп'ютерне моделювання. В процесі комп'ютерного моделювання було розглянуто розподіл бульбашок (при стаціонарній кавітації) за розміром та при різній амплітуді коливання біля торця ультразвукового концентратора. Виявлено, що розподіл бульбашок за розміром обернено пропорційний швидкості зростання за радіусом, на резонансній частоті явище кавітації зведено до мінімуму.*

***Ключові слова:** стоматологія, пломбувальний матеріал, в'язкість, п'єзоелектричний перетворювач, кавітація, ультразвуковий концентратор.*

Вступ. Істотним і заключним етапом лікування одного з найпоширеніших стоматологічних захворювань - карієсу - є пломбування зуба. Воно являє собою заповнення порожнини, що утворилася в твердих тканинах зуба, спеціальними матеріалами з метою відновлення анатомічної форми зуба, припинення подальшого розвитку каріозного процесу і відновлення фізіологічної функції зуба [1].

У клінічній практиці використовується широкий асортимент пломбувальних матеріалів, які з точки зору завдань пломбування, мають як позитивні, так і негативні властивості. Для отримання оптимального клінічного ефекту при пломбуванні зубів лікар повинен мати чітке уявлення про основні параметри пломбувальних матеріалів, їх хімічну природу, фізичні і механічні властивості, реакції тканин зуба і періодонта на імплантований матеріал. Правильне використання пломбувальних матеріалів вимагає від лікаря знання не тільки властивостей пломбувальних матеріалів, а й усіх змін, що відбуваються в матеріалі в процесі пломбування. Незнання або недооцінка технологічних і клінічних аспектів роботи з пломбувальними матеріалами призводить до зниження якості пломб [2].

Існує цілий ряд помилок і ускладнень при пломбуванні, наприклад, неправильне співвідношення порошок - рідина, призводить до зниження фізико-механічних властивостей пломби. Невірна методика замішування матеріалу, недостатнє розмішування порошку з рідиною призводить до порушення пластичності матеріалу. Також при недостатньому перемішуванні порошку з рідиною залишаються нерозтерті крупинки цементу, які порушують структуру пломби, і вона швидко кришиться. Недостатній час зчеплення може привести до виникнення вторинного карієсу. Нехтування консистенцією пломбувального матеріалу в момент введення його в порожнину призводить до того, що пломба погано прилягає до стінок порожнини, недостатньо прилипає і формування контуру пломби ускладнюється.

Після замішування пломбувальні матеріали набувають пластичності, яку зберігають на протязі деякого короткого проміжку часу, що має назву «робочий час». Протягом цього часу пластичність матеріалу змінюється - він стає більш в'язким. Внесення матеріалу та його формування поза межами робочого часу призводять до порушення адгезії і випадіння пломби [3].

Метою роботи є дослідження процесу контролю в'язкості пломбувальної суміші за допомогою п'єзоелектричних віскозиметрів з ультразвуковими коливальними системами для підвищення потужності коливального процесу а, отже, розширення діапазону та підвищення точності вимірювання.

Більшість магнітострикційних і п'єзоелектричних перетворювачів працює в режимі одностороннього випромінювання, коли випромінюючою є лише одна його сторона. Максимальна амплітуда коливань перетворювача навіть на резонансному режимі невелика - не

більше 5-10 мкм. Для збільшення амплітуди коливань інструменту і узгодження перетворювача з навантаженням застосовують ультразвукові концентратори [4].

Як відомо, ультразвуковий концентратор (УЗК) являє собою механічний трансформатор коливань (рис.1). Це означає, що амплітуда зсувів на вихідній стороні концентратора в K разів більша, ніж на вхідній, де K - коефіцієнт підсилення. Основною характеристикою їх є теоретичний коефіцієнт підсилення K , що показує, у скільки разів амплітуда коливань його вихідного торця більша амплітуди на вхідному торці. Цей коефіцієнт залежить від співвідношення N діаметрів вхідного $D1$ і вихідного $D2$ торців концентратора: $N=D1/D2$.

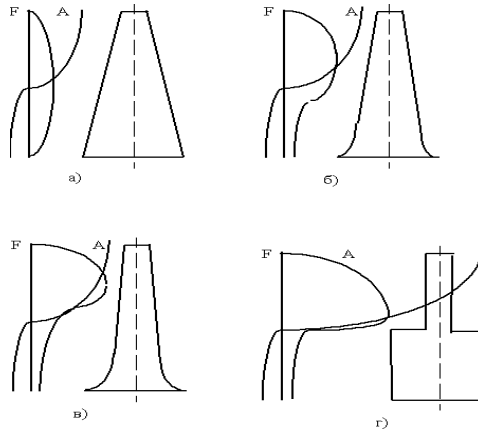


Рис. 1. Ультразвукові концентратори:

а) - конусний; б) - експоненціальний; в) - катеноїдальний; г) - ступінчастий

Найбільший коефіцієнт підсилення амплітуди при одному і тому ж значенні N забезпечується ступінчастим концентратором. У нього $K=N^2$. Цим пояснюється широке застосування концентраторів ступеневого типу в різних ультразвукових установках. Крім того, ці концентратори простіші у виготовленні, що часом є найважливішою умовою для успішного застосування ультразвукової обробки [5]. Значення коефіцієнта підсилення амплітуди ступінчастого концентратора беруть з урахуванням запобігання можливості виникнення бічних коливань, що спостерігається при великих коефіцієнтах посилення ($K>8...10$), а також його міцності даних. На практиці коефіцієнт підсилення у ступінчастого концентратора приймають рівним від чотирьох до шести. Концентратори можуть бути невід'ємною частиною коливальної системи або змінним її елементом. У першому випадку вони з'єднуються безпосередньо з перетворювачем методом пайки. Змінні концентратори з'єднують з коливальною системою (наприклад, з перехідним фланцем) за допомогою різьблення [6].

Авторами була запропонована конструкція перетворювача зі ступінчастим концентратором (рис.2) для підвищення потужності коливального процесу а, отже, розширення діапазону та підвищення точності вимірювання. [7, 8].

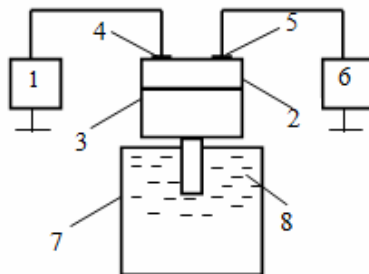
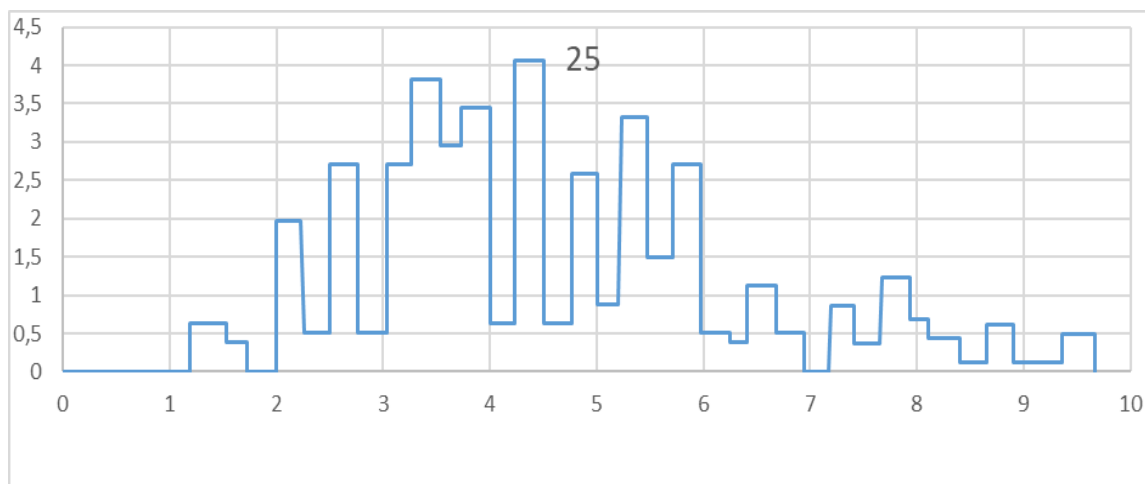


Рис. 2. Перетворювач в'язкості:

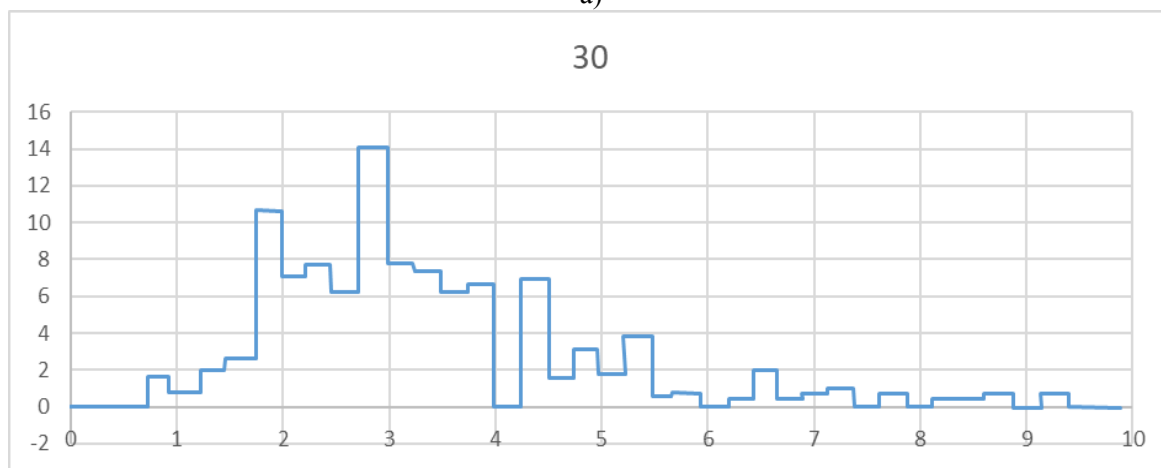
1 - генератор електричних коливань; 2 - дисковий п'єзоелемент; 3 - ступінчастий концентратор; 4 - вхідна система електродів; 5 - вихідна система електродів; 6 - лічильник; 7 - судина; 8 - досліджувальна суміш

Відомо, що при роботі коливальної системи в повітрі на резонансній частоті, в ній виникає стояча хвиля. При приміщенні системи в суміш, з'являється також хвиля, що біжить, яка обумовлює ультразвукові втрати, які, в свою чергу, залежать від глибини занурення в суміш і співвідношення акустичних опорів матеріалів випромінювача і суміші, що досліджується [9, 10].

Раніше експериментально встановлено [7], що в зонах концентратора, де існують максимальні амплітуди коливань, в рідині виникають кавітаційні бульбашки, які спотворюють результати вимірювань в'язкості



а)



б)

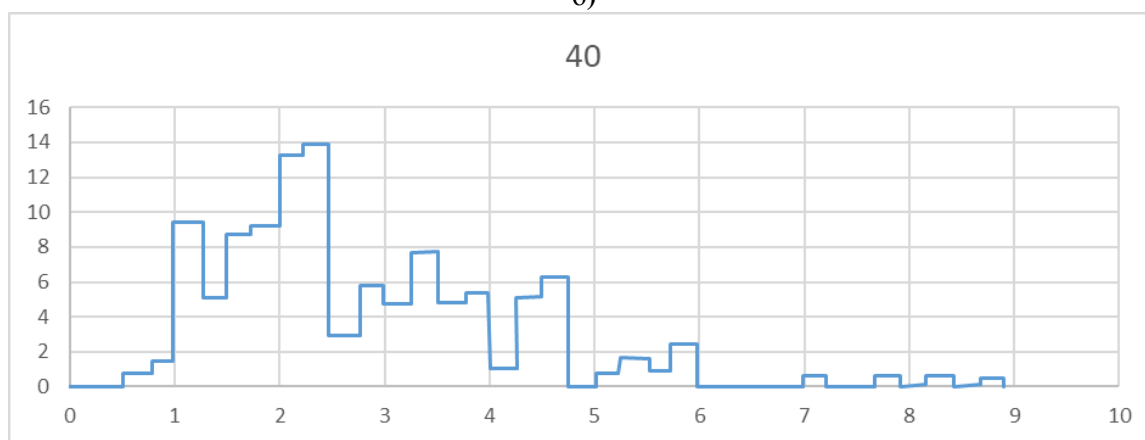


Рис. 3. Розподіл бульбашок за розміром при різній амплітуді коливання:
а – амплітуда коливання біля торця концентратора 25 мкм; б - амплітуда коливання біля торця концентратора 30 мкм; в - амплітуда коливання біля торця концентратора 40 мкм

За допомогою комп'ютерного моделювання було розглянуто процес розподілу бульбашок (при стаціонарній кавітації) за розміром та при різній амплітуді коливання біля торця ультразвукового концентратора (рис.3), на рисунку вісь абсцис – значення радіусу бульбашок, вісь ординат – кількість бульбашок. Розподіл отриманий при коливаннях ультразвукового концентратора на частоті 22 кГц.

Як видно з рисунку, розподіл пухирців за розміром обернено пропорційний швидкості зростання за радіусом. На резонансній частоті маємо «обвал» в функції розподілу, тобто явище кавітації зведене до мінімуму.

Висновки. Отже, використання ступінчатого ультразвукового концентратора в п'єзоелектричних віскозиметрах дозволяє розширити діапазон вимірювання та мінімізувати появу кавітаційних бульбашок, і тим самим збільшити точність вимірювання в'язкості пломбувальних сумішей.

Список літератури

1. Поюровская И.Я. Стоматологическое материаловедение. Учебное пособие - ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 192 с.
2. Трезубов В.Н., Шейнгарт М.З., Мишнев Л.М. Ортопедическая стоматология; Прикладное материаловедение: Учебник для медицинских вузов/ Под ред. проф. В.Н.Трезубова. 3-е изд., испр.и доп.- СПб: СпецЛит, 2003. – С. 63-68; 123-127; 181-184; 208-210; 302-310.
3. Вязмитина А.В., Усевич Т.Л. Материаловедение в стоматологии: Справочник. – Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 200 с.
4. Макаров Л. О. Методика расчета стержневых экспоненциальных ультразвуковых концентраторов. - Применение ультразвука в промышленности. М., Машгиз, 1959.
5. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. – Москва. – машгиз., 1959. 331 с.
6. Гаврилов А.Н. Современное состояние и направления развития технологии машиностроения и приборостроения - 1960 – 564 с.
7. Кисиль Т. Ю. Ультразвуковой метод, пьезоэлектрические преобразователи и устройства контроля вязкости жидкости повышенной точности для систем управления. Канд. дис., ОНПУ, 2003. – с.137
8. Патент України по заявці №20021210781 від 29.12.2002 Пристрій для вимірювання в'язкості рідини// Шарапов В.М., Кісіль Т.Ю.
9. Шульга Н.А., Болкисев А.М. Колебания пьезоэлектрических тел. – К.: Наукова думка, 1990.
10. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. - с.915

Т.Ю. Кисиль, к.т.н., доцент, Л.Г. Куницкая, к.т.н., доцент, В.В. Туз, к.т.н., доцент
Черкасский государственный технологический университет

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВИСКОЗИМЕТРАХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТОМАТОЛОГИИ

***Аннотация.** В работе проведено исследование процесса контроля вязкости пломбировочной смеси с помощью пьезоэлектрических вискозиметров с ультразвуковыми колебательными системами для повышения мощности колебательного процесса и, следовательно, расширение диапазона и повышение точности измерения. Приведена конструкция устройства, реализующего предложенное и проведено компьютерное моделирование. В процессе компьютерного моделирования были рассмотрены процесс распределения пузырьков (при стационарной кавитации) по размеру и при разной амплитуде колебания у торца ультразвукового концентратора. Выявлено, что распределение пузырьков по размеру обратно пропорционально скорости роста по радиусу, на резонансной частоте явление кавитации сведено к минимуму.*

***Ключевые слова:** стоматология, пломбировочный материал, вязкость, пьезоэлектрический преобразователь, кавитация, ультразвуковой концентратор*

**T. Yu. Kisil, Ph.D., associate professor, L.G. Kuniyska, Ph.D., associate professor,
V.V. Tuz, Ph.D., associate Professor**
Cherkasy State Technological University

**ABOUT THE APPLICABILITY OF ULTRASONIC CONCENTRATORS IN
PIEZOELECTRIC VISCOSYMETRES FOR MONITORING THE CONDITION OF
FILLING MATERIALS IN DENTISTRY**

***Annotation.** The process of monitoring the filling mixture viscosity using piezoelectric viscometers with ultrasonic oscillatory systems, in order to increase the power of the oscillatory process and therefore expand the range and improve the measurement accuracy, was investigated in the study. The design of the device for implementing the proposed solution was provided and computational modelling was performed. In the course of the computational modelling, the process of bubbles distribution (under the stationary cavitation) based on the size and with different oscillation amplitudes at the end of the ultrasonic concentrator was studied. It was discovered that the bubbles distribution based on the size is inversely proportional to the radial growth rate, the cavitation is minimized on the resonant frequency.*

***Keywords:** dentistry, filling material, viscosity, piezoelectric transducer, cavitation, ultrasonic concentrator*

Стаття надійшла до редакції 29.10.2018

УДК 53.089.6

Коржов І.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВОК ВІБРОВИПРОБУВАЛЬНИХ

В статті розглянуті питання метрологічного забезпечення установок вібровипробувальних та викладена одна з можливих методик калібрування установок вібровипробувальних, в якій визначаються наступні метрологічні характеристики: діапазон відтворення віброприскорення (верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення), коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій методиці калібрування описані наступні операції калібрування: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення метрологічних характеристик, обробка результатів вимірювань. Наведені рівняння вимірювання та бюджети невизначеності вимірювання при калібруванні установок вібровипробувальних з розрахунком кожної зазначеної величини та їх вкладу (включаючи розрахунок коефіцієнтів чутливості) в сумарну невизначеність калібрування. Запропонована методика калібрування не враховує кореляцію між вхідними величинами.

Ключеві слова: *устаткування вібровипробувальна, методика калібрування, бюджет невизначеності вимірювання при калібруванні*

Вступ. У зв'язку з реформацією метрологічної системи України у напрямку гармонізації її з метрологічною системою Європейського союзу та зв'язаною з цим відміною великої кількості стандартів, включаючи ГОСТ 24555-81, що регламентує атестацію випробувального обладнання, встає актуальним питання метрологічного забезпечення випробувального обладнання, включаючи установки вібровипробувальних. Одним з можливим видом метрологічного забезпечення випробувального обладнання є його калібрування.

Калібрування установок вібровипробувальних дає змогу визначити метрологічні характеристики (далі – МХ), що дає для замовника калібрування більш детальну інформацію про його обладнання. У той же час відсутність методик калібрування (далі – МК) та більша трудомісткість і як наслідок більша ціна слід віднести до недоліків калібрування.

В статті запропоновано одна з можливих МК установок вібровипробувальних, в якій визначаються наступні МХ: верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення, коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій МК описані наступні операції калібрування: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення метрологічних характеристик, обробка результатів вимірювань. Запропонована МК не враховує кореляцію між вхідними величинами.

Операції калібрування. У запропонованій МК наведено наступні операції калібрування установок вібровипробувальних: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення МХ, обробка результатів вимірювань. При отриманні негативних результатів при зовнішньому огляді або опробуванні установка вібровипробувальна визнається непридатною до калібрування.

Засоби калібрування. При проведенні калібрування установок вібровипробувальних, застосовуються еталони та допоміжні засоби вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) для контролю умов калібрування, що наведені у таблиці 1.

Всі ЗВТ, що вказані в таблиці 1, можуть бути замінені ЗВТ не гіршими щодо діапазонів та МХ. Всі ЗВТ, які використовуються при калібруванні, повинні бути справні та мати чинні сертифікати (свідоцтва) про калібрування.

Таблиця 1

Перелік еталонів і допоміжних ЗВТ.

Назва, тип ЗВТ	МХ ЗВТ	Призначення
Аналізатор спектру вібрації типу 795C911 з двома віброперетворювачами типу С11	Робочий діапазон частот для двох каналів від 2 Гц до 18 кГц, для одного каналу від 2 Гц до 36 кГц; Діапазон вимірювання віброприскорення від 0,08 м/с ² до 675 м/с ² розширена невизначеність не більше ніж 4 %; Роздільна здатність аналізатору: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ліній	Вимірювання віброприскорення та аналіз спектру
Термогірометр TESTO 608-Н1	Вимірювання температури навколишнього середовища: від 0 °С до 50 °С, розширена невизначеність не більше ніж 0,3 °С Вимірювання відносної вологості: від 15 % до 85 % розширена невизначеність не більше ніж 2,1 %	Контроль умов калібрування

Зовнішній огляд. Проведення зовнішнього огляду установок вібровипробувальних здійснюється візуально. При проведенні зовнішнього огляду необхідно перевірити:

- 1) відсутність видимих механічних пошкоджень і дефектів установки вібровипробувальної та її складових;
- 2) наявність і повноту маркувань згідно з технічної документацією та/або експлуатаційними документами.

При невідповідності установки вібровипробувальної зазначеним вище вимогам, калібрування не проводиться до усунення виявлених недоліків.

Перевірка функціонування (опробування). Перевірка функціонування (опробування) установки вібровипробувальної здійснюється шляхом включення установки вібровипробувальної. Опробування вважається позитивним, якщо відсутня сигналізація про несправність. При отриманні негативних результатів опробування подальше калібрування установки вібровипробувальної зупиняється до усунення причин отримання негативних результатів.

Визначення МХ.

Визначення нижньої межі номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної проводять за допомогою аналізатора спектру вібрації вимірювання значення вібраційного шуму на вібростолі включеної установки вібровипробувальної, але яка в цей час не відтворює вібрацію. Вимірювання віброприскорення проводиться в контрольній точці вібростолу згідно з його експлуатаційними документами, за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. За нижню межу номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної приймається значення віброприскорення яке не менше ніж в чотири рази більше за виміряне значення вібраційного шуму.

Визначення верхньої межі номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної здійснюється шляхом перевірки аналізатором спектру вібрації спроможності установки вібровипробувальної відтворювати верхню межу діапазону, що встановлена в експлуатаційних документах. За верхню межу номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної слід прийняти найменше значення з відтворюваних в номінальному діапазоні частот при параметрах збудження, що не перевищують нормовані в експлуатаційних документах значень.

За номінальний діапазон частот приймають діапазон, в якому забезпечено відтворення віброприскорення в його номінальному діапазоні.

Коефіцієнти гармонік віброприскорення K_H установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, в трьох точках кріплення за допомогою аналізатора спектру вібрації. Вимірювання віброприскорення проводиться за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. За коефіцієнт гармонік

віброприскорення K_H установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації приймають найбільше з визначених за формулою (1) значень в трьох точках кріплення.

$$K_H = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_j^2}}{a_0}, \quad (1)$$

де a_j – значення віброприскорення для гармонік для яких значення віброприскорення не менше 1 % від значення віброприскорення першої гармоніки;

n – кількість гармонік для яких значення віброприскорення не менше 1 % від значення віброприскорення першої гармоніки;

a_0 – значення віброприскорення для першої гармоніки (на частоті, що задана на установці вібровипробувальній).

Коефіцієнт поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, в трьох точках кріплення шляхом вимірюванням віброприскорення аналізатором спектру вібрації на трьох взаємно перпендикулярних гранях перехідного куба (див. рис. 1).

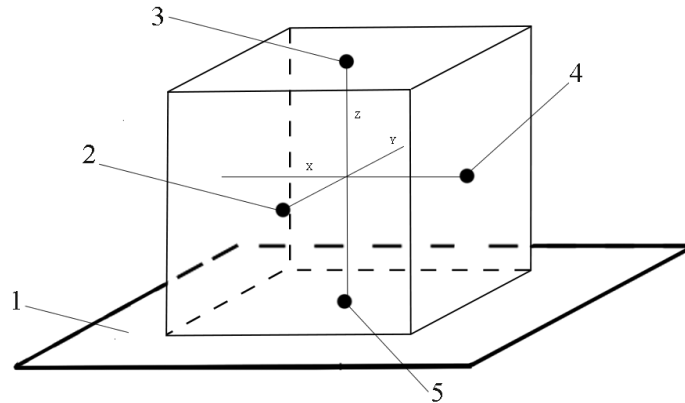


Рис. 1. Розташування вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації при визначенні коефіцієнту поперечних складових віброприскорення

1 – поверхня вібростолу; 2 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі Y; 3 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі Z; 4 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі X; 5 – точка кріплення

За коефіцієнт поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації приймають найбільше з визначених за формулою (2) значень в трьох точках кріплення.

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z}, \quad (2)$$

де a_x, a_y, a_z – вимірювання аналізатором спектру вібрації віброприскорення вдвож осі X, Y, Z відповідно.

Коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення Θ установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, шляхом вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації в трьох точках кріплення (що максимально віддалені одна від одної) та контрольній точці. Вимірювання віброприскорення проводиться за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. Коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення Θ установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації розраховують за формулою:

$$\Theta = \frac{\max |a_i - a_{\epsilon}|}{a_{\epsilon}}, \quad (3)$$

де a_i – значення віброприскорення виміряних аналізатором спектру вібрації в кожній з трьох точок кріплення;

a_{ϵ} – значення віброприскорення виміряне аналізатором спектру вібрації в контрольній точці.

Точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної визначається за допомогою аналізатора спектру вібрації у точках 5; 25; 50; 75; 95 % від діапазону відтворення віброприскорення, на частотах зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, що може відтворити установка вібровипробувальна, без навантаження і з масою навантаження на столі установки вібровипробувальної, що відповідає номінальній масі за експлуатаційними документами.

Для кожного режиму відтворення вібрації проводять не менше п'яти вимірювань віброприскорення за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною.

Обробка результатів вимірювання.

Обробка результатів визначення коефіцієнту гармонік (нелінійних спотворень) віброприскорення K_H установки вібровипробувальної.

Рівняння визначення коефіцієнту гармонік (нелінійних спотворень) віброприскорення K_H :

$$K_H = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\text{НА}} + \delta a_{\text{АІ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}})^2}}{a_0 + \delta a_{\text{НА}} + \delta a_{\text{АІ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}}}, \quad (4)$$

де $\delta a_{\text{СА}}$ – поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації;

$\delta a_{\text{ВМ}}$ – поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації;

δa_t – поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації;

$\delta a_{\text{АЧХ}}$ – поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту гармонік K_H

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_0	a_0	-	-	-	-
a_j	a_j	-	-	-	-
$\delta a_{\text{СА}}$	$\delta a_{\text{СА}}$	$u(\delta a_{\text{СА}})$	нормальний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{НА}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{НА}}} u(\delta a_{\text{НА}})$
$\delta a_{\text{ВМ}}$	$\delta a_{\text{ВМ}}$	$u(\delta a_{\text{ВМ}})$	нормальний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АІ}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АІ}}} u(\delta a_{\text{АІ}})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_t}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_t} u(\delta a_t)$
$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$u(\delta a_{\text{АЧХ}})$	рівномірний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}} u(\delta a_{\text{АЧХ}})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
K_H	K_H	$u(K_H)$	нормальний	2	$U(K_H)$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{\text{СА}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значень віброприскорень гармонік $u(\delta a_{\text{СА}})$:

$$u(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}) = \frac{U(\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}})}{k}, \quad (5)$$

де $U(a_{CA})$ – розширена невизначеність вимірювання аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатором спектру вібрації;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}} = \frac{2n(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (6)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатором спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації δa_{BM} визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{BM})$:

$$u(\delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}) = \frac{U(\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}})}{k}, \quad (7)$$

де $U(a_{BM})$ – розширена невизначеність вимірювання аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}} = \frac{2n(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (8)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування, що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t :

$$u(\delta\dot{a}_t) = \frac{U(\dot{a}_t)}{k}, \quad (9)$$

де $U(a_t)$ – розширена невизначеність температурного коефіцієнта чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_t} = \frac{2n(\delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (10)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ для частот відповідних гармонік визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ для частот відповідних гармонік визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована:

$$u(\delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) = 1 - \frac{K + n}{n(K + 1)}, \quad (11)$$

де:

$$\hat{E} = \frac{f_{\hat{a}}}{f_1}, \quad (12)$$

$$n = \frac{f_2}{f_1}, \quad (13)$$

де f_v – верхня межа номінального діапазону відтворення вібрації установки вібровипробувальної;

f_1, f_2 – найменше та найбільше зі значень частот уставних резонансів вібровимірювального перетворювача (з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}} = \frac{2n(\delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (14)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(K_H)$:

$$u(\hat{E}_t) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_t}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_t) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})} \quad (15)$$

Розширена невизначеність $U(K_H)$:

$$U(\hat{E}_t) = k \cdot u(\hat{E}_t), \quad (16)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів визначення коефіцієнту поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібропробувальної.

Рівняння визначення коефіцієнту поперечних складових віброприскорення K_{Π} :

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{(a_X + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}})^2 + (a_Y + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}})^2}}{a_Z + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}} - \delta a_{K_H}} \quad (17)$$

де $\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$ – поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту поперечних складових K_{Π}

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_X	a_X	-	-	-	-
a_Y	a_Y	-	-	-	-
a_Z	a_Z	-	-	-	-
$\delta a_{\text{ВМ}}$	$\delta a_{\text{ВМ}}$	$u(\delta a_{\text{ВМ}})$	нормальний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{ВМ}}}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{ВМ}}} u(\delta a_{\text{ВМ}})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_t}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_t} u(\delta a_t)$
$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$u(\delta a_{\text{АЧХ}})$	рівномірний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}} u(\delta a_{\text{АЧХ}})$
δa_{K_H}	δa_{K_H}	$u(\delta \dot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	$-\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{K_H}}$	$-\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{K_H}} u(\delta a_{K_H})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
K_{Π}	K_{Π}	$u(K_{\Pi})$	нормальний	2	$U(K_{\Pi})$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{\text{ВМ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{\text{ВМ}})$ згідно з (7).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{E}_i}} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i})^2} \quad (18)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування, що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_t} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\hat{A}i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (19)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\hat{A}i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (20)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \dot{a}_{\hat{E}i}$ розраховується за формулою:

$$\delta \dot{a}_{\hat{E}i} = \hat{E}_i \cdot \dot{a}_Z, \quad (21)$$

де K_H – згідно з формулою (1).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \dot{a}_{\hat{E}i})$ розраховується за формулою (15).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{E}i}} = \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (22)$$

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(K_{II})$:

$$u(\hat{E}_i) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A}i}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{A}i}) + \left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_t}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_t) + \left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}) - \left(\frac{\partial \hat{E}_i}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{E}i}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{E}i})} \quad (23)$$

Розширена невизначеність $U(K_{II})$:

$$U(\hat{E}_i) = k \cdot u(\hat{E}_i), \quad (24)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ .

Рівняння визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ :

$$\Theta = \frac{(a_i + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i}) - (a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i})}{a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i}}, \quad (25)$$

де $\delta\dot{a}_{\dot{E}i}$ – поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_i	a_i	-	-	-	-
a_k	a_k	-	-	-	-
δa_{BM}	δa_{BM}	$u(\delta a_{BM})$	нормальний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{BM}}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{BM}} u(\delta a_{BM})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_t}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_t} u(\delta a_t)$
δa_{ACH}	δa_{ACH}	$u(\delta a_{ACH})$	рівномірний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{ACH}}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{ACH}} u(\delta a_{ACH})$
$\delta\dot{a}_{\dot{E}i}$	$\delta\dot{a}_{\dot{E}i}$	$u(\delta\dot{a}_{\dot{E}i})$	нормальний	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_H}}$	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_H}} u(\delta a_{K_H})$
$\delta\dot{a}_{\dot{E}i}$	$\delta\dot{a}_{\dot{E}i}$	$u(\delta\dot{a}_{\dot{E}i})$	нормальний	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_{II}}}$	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_{II}}} u(\delta a_{K_{II}})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
Θ	Θ	$u(\Theta)$	нормальний	2	$U(\Theta)$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації δa_{BM} визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{BM})$ згідно з (7).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta\dot{a}_{\dot{A}i}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{(a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i})^2} \quad (26)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_t} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{(a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}i})^2} \quad (27)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (28)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}$ розраховується за формулою:

$$\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} = \hat{E}_1 \cdot \dot{a}_{\text{неліній}} \quad (29)$$

де $K_{\text{Н}}$ – згідно з формулою (1);

$a_{\text{вим}}$ – вимірне значення віброприскорення a_i , та a_k відповідно для поправки значень a_i , та a_k .

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})$ розраховується за формулою (15).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (30)$$

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації $\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}$ розраховується за формулою:

$$\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} = \hat{E}_1 \cdot \dot{a}_{\text{неліній}} \quad (31)$$

де $K_{\text{П}}$ – згідно з формулою (2);

$a_{\text{вим}}$ – вимірне значення аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})$ розраховується за формулою (23).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (32)$$

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(\Theta)$:

$$u(\Theta) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}}) + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_t} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_t) + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}) - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}) - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})} \quad (33)$$

Розширена невизначеність $U(\Theta)$:

$$U(\Theta) = k \cdot u(\Theta), \quad (34)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів вимірювання відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної.

Рівняння вимірювання віброприскорення має вигляд:

$$\Delta a = a_{\hat{0}\hat{A}} + \delta \ddot{a}_{\hat{0}\hat{A}} - (\dot{a}_{\text{неліній}} + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}), \quad (35)$$

де Δa – відхилення віброприскорення, що задане установкою вібровипробувальною від вимірюного значення;
 $a_{УВ}$ – віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній;
 $\delta a_{УВ}$ – поправка віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній.
 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Бюджет невизначеності вимірювання відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
$a_{УВ}$	-	-	-	-	-
$\delta a_{УВ}$	$\delta a_{УВ}$	$u(\delta a_{УВ})$	рівномірний	1	$u(\delta a_{УВ})$
$a_{ВМ}$	$a_{ВМ}$	$u(a_{ВМ})$	нормальний	-1	$-u(a_{ВМ})$
$\delta a_{ВМ}$	$\delta a_{ВМ}$	$u(\delta a_{ВМ})$	нормальний	-1	$-u(\delta a_{ВМ})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	-1	$-u(\delta a_t)$
$\delta a_{АЧХ}$	$\delta a_{АЧХ}$	$u(\delta a_{АЧХ})$	рівномірний	-1	$-u(\delta a_{АЧХ})$
$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	1	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$
$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	1	$-u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
Δa	Δa	$u(\Delta a)$	нормальний	2	$U(\Delta a)$

Поправка віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній, $\delta a_{УВ}$ (викликана кінцевим дозволом), приймається рівною нулю.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній, $u(\delta a_{УВ})$:

$$u(\delta F_{\delta}) = \frac{LBS}{2\sqrt{3}}, \quad (36)$$

де LBS – одиниця молодшого розряду установки вібровипробувальної, при задані значення віброприскорення.

Закон розподілу – рівномірний.

Виміряне аналізатором спектру вібрації віброприскорення, $a_{ВМ}$:

$$\dot{a}_{\dot{a}ei} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{a}_i, \quad (37)$$

де a_i – i -те виміряне аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення;
 n – кількість вимірювань.

Оцінка стандартної невизначеності вимірюного аналізатором спектру вібрації віброприскорення, $u(a_{ВМ})$:

$$u(\dot{a}_{\dot{a}ei}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{a}_i - \dot{a}_{\dot{a}ei})^2}{n(n-1)}} \quad (38)$$

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{ВМ}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності вимірюного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{ВМ})$ згідно з (7).

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$ розраховується за формулою (29).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$ розраховується за формулою (15).

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації $\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$ розраховується за формулою (31).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$ розраховується за формулою (23).

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(\Delta a)$:

$$u(\Delta \dot{a}) = \sqrt{u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{O}\dot{A}}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{a}\dot{a}\dot{i}}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{A}\dot{i}}) + u^2(\delta \ddot{a}_t) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})u^2 + (\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})} \quad (39)$$

Розширена невизначеність $U(\Delta a)$:

$$U(\Delta \dot{a}) = k \cdot u(\Delta \dot{a}), \quad (40)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Розрахунок бюджету невизначеності проводять для кожної точки калібрування.

Висновки. Викладена в статті МК описує процедури визначення МХ установок вібровипробувальних: діапазон відтворення віброприскорення (верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення), коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій МК описані основні операції калібрування, а саме: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення МХ, обробка результатів вимірювань. Наведені рівняння вимірювання та бюджети невизначеності вимірювання при калібруванні установок вібровипробувальних з розрахунком кожної зазначеної величини та їх вкладу (включаючи розрахунок коефіцієнтів чутливості) в сумарну невизначеність калібрування. Запропонована МК не враховує кореляцію між вхідними величинами, що обумовлено великою трудомісткістю їх розрахунку при практичній реалізації процедури калібрування установок вібровипробувальних.

Перед використанням зазначеної МК слід провести верифікацію та валідацію згідно з встановленою процедурою у калібрувальній лабораторії.

Інформаційні джерела:

1. ГОСТ 24555-81 Система государственных испытаний продукции. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения
2. ISO 226:2003 Acoustics - Normal equal-loudness-level contours

И.М. Коржов

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ УСТАНОВОК ВИБРОИСПЫТАТЕЛЬНЫХ

В статье рассмотрены вопросы метрологического обеспечения установок виброиспытательных и изложена одна из возможных методик калибровки установок виброиспытательных, в которой определяются следующие метрологические характеристики: диапазон воспроизведения виброускорения (верхняя и нижняя граница номинального диапазона воспроизведения виброускорения), коэффициенты гармоник виброускорения, коэффициент поперечных составляющих виброускорения, коэффициент неравномерности распределения виброускорения, точность воспроизведения виброускорения установки виброиспытательной. В предложенной методике калибровки описаны следующие операции калибровки: внешний осмотр, проверка функционирования (опробования), определение метрологических характеристик, обработка результатов измерений. Приведенные уравнения измерения и бюджеты неопределенности измерения при калибровке установок виброиспытательных с расчетом каждой указанной величины и их вклада (включая расчет коэффициентов чувствительности) в суммарную неопределенность калибровки. Предложенная методика калибровки не учитывает корреляцию между входными величинами.

Ключевые слова: оборудования виброиспытательное, методика калибровки, бюджет неопределенности измерения при калибровке

Ihor Korzhov

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

METHOD OF CALIBRATION VIBRATION TESTING EQUIPMENT

An the article, the questions of metrological provision of vibration testing equipment are discussed and one of the possible calibration methods for vibration testing equipment is described, in which the following metrological characteristics are determined: vibration acceleration reproduction range (upper and lower limit of the vibration acceleration nominal range), vibration acceleration coefficients, transverse vibration acceleration coefficient, unevenness coefficient distribution of vibration acceleration, accuracy of reproduction vibration acceleration. The following calibration procedures are described in the proposed calibration procedure: external inspection, testing of functioning (testing), determination of metrological characteristics, processing of measurement results. The reduced measurement equations and budgets of measurement uncertainty in the calibration of vibration test sets with the calculation of each specified value and their contribution (including the calculation of the sensitivity coefficients) to the total uncertainty of the calibration. The proposed method of calibration does not take into account the correlation between the input quantities.

Keywords: vibration testing equipment, calibration procedure, uncertainty budget for calibration measurement

Стаття надійшла до редакції 10.06.2018

UDC 681.586

L.G. Kynytska, Ph.D., associate professor, T.Yu. Kisil, Ph.D., associate professor, V.V. Tuz, Ph.D., associate professor
Cherkasy State Technological University

IMPROVING OF PARAMETERS PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR MEDICAL ACOUSTICS DEVICES

The creation and improvement of special piezoceramic sensors for medical acoustic diagnostics is very important. Such sensors are characterized by high sensitivity and linearity of the amplitude-frequency characteristic in a wide frequency range.

Issues of improving piezoceramic electroacoustic transducers using the method of additional elements are considered in this paper. If the additional oscillatory circuits, which are created using the additional inductance and the interelectrode capacitance of the piezoelectric element, are connected to a relatively high-frequency transducer, it is possible to create acoustic low-frequency oscillations. Also can increase the sound pressure level, expand the bandwidth of the transducer, which is important for transducers used in medical acoustics. Transducers with the properties of differentiating and integrating circuits can be obtained by connecting active resistances to the piezoelectric element.

Key words: *piezoelectric element, transducer, equivalent circuit, inductance, capacitance, amplitude-frequency characteristic.*

Piezoelectric transducers are widely used in other areas of science and technology: electroacoustic, underwater acoustics, in the ultrasound, measuring equipment, in scanning probe microscopes, piezoengines [1–3].

Currently, acoustic control devices are widely used in medicine. They have in their design one or several piezoelectric transducers and allow to obtain many data on the state of human health.

A transducer is a device that converts one physical quantity or energy into another physical quantity or energy, for example, thermal energy - into electrical energy, force - into displacement, pressure - into electrical voltage or current, electrical voltage of one level - into electrical voltage of another level etc [4].

Methods of piezoelectric transducers synthesis are described in work [4]. These methods allow creating transducers with necessary characteristics. The technology of additional elements is of particular interest among the described technologies, since in this case the change in transducers characteristics is due to external circuits of piezoelement.

At least two options are possible here. In the first case, the metal plate, the second piezoelectric element or the ultrasonic concentrator is mechanically attached to the piezoelectric element. In the second case, the capacitance, inductance, resistance, another piezoelectric element or part of the piezoelectric element is electrically connected to the piezoelectric element.

The attachment of a metal plate to the piezoelectric element turns the monomorphic piezoelement into bimorph. At the same time, a new type of vibration appears - bending. These oscillations are the lowest frequency for piezoelectric transducers. In this case, the sensitivity of the transducer increases by an order of magnitude or more. A similar result is achieved when two piezoelectric elements are connected [1, 4].

Attaching an ultrasonic concentrator to the piezoelement reduces the operating frequency of the device and increases the displacement amplitude. Such devices are used in ultrasonic technology [4, 5] and in measuring devices [1].

The addition of electrical elements - inductance, capacitance, active resistance and circuits composed of these elements to the piezoelectric element is also interesting.

A simplified equivalent electric circuit of the piezoelectric element is shown on Fig.1,a.

On this scheme C_{el} – capacity between piezoelement electrodes, L_{db} , C_d , R – dynamic inductance, capacity and active losses in a piezoelement.

If attach the inductance to the input of a piezoelement L_{ad} , this inductance and capacity between electrodes C_{el} forme a consecutive oscillatory contour $L_{ad}C_{el}$ [6] (Fig. 1,b), which resonant frequency can be defined by the known formula

$$f_{ad} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{ad}C_{el}}} \quad (1)$$

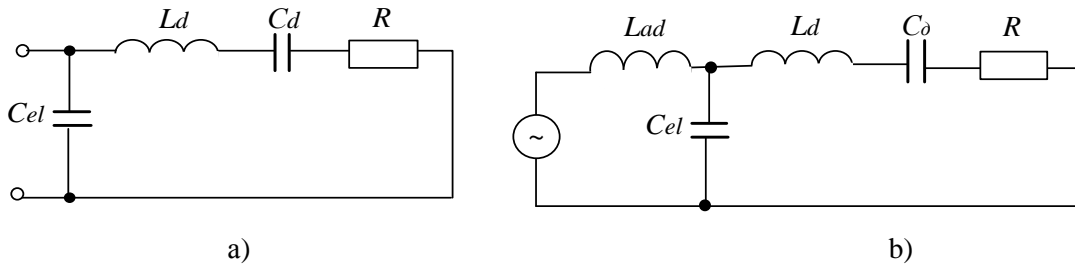


Fig.1. The equivalent electric circuit of a piezoelement (a), The equivalent circuit of piezoelement with additional inductance (b)

Resonant frequency of a piezoelement

$$f_{PE} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d C_d}} \quad (2)$$

Besides, there is a resonance on frequency

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_{ad} + L_d)C_d}} \quad (3)$$

Depending on values C_{el} and L_{ad} three cases are possible:

$$\begin{aligned} f_{ad} &= f_{PE}; \\ f_{ad} &< f_{PE}; \\ f_{ad} &> f_{PE}. \end{aligned} \quad (4)$$

We will test the electro-acoustic transducer 3П-19. The transducer consists of bimorph piezoelement (a steel plate 40X with diameter 32 mm and thickness 0,15 mm and of piezoelement with diameter 23 mm and thickness 0,2 mm made of piezoceramic ЦТС-19), fixed on the generating line in the case made of polystyrene.

We will perform the test in the piezotransformer mode, for which we divide one of the electrodes of the piezoelectric element into two parts - the ring and the disk (Fig. 2,a).

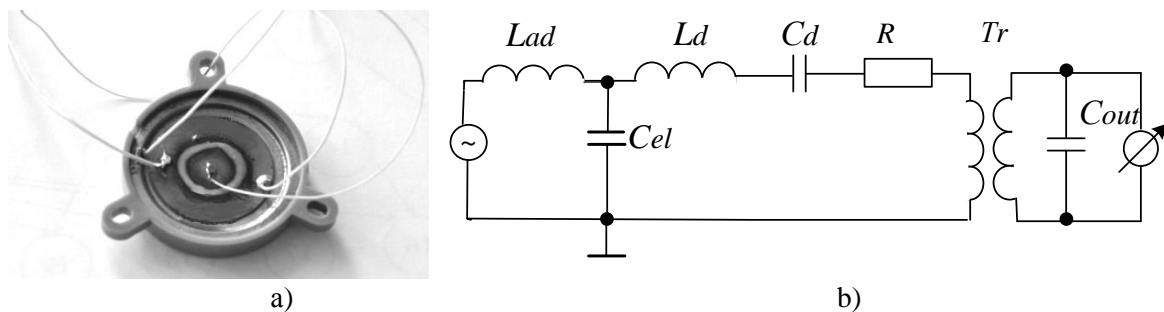


Fig. 2. The electro-acoustic transducer 3П-19 (a), The equivalent electric circuit (b)

The equivalent circuit of such a transducer is shown on Fig 2,b. On this circuit, T_r is the ideal transformer, C_{out} – capacitance between the output electrodes of the piezotransformer.

The amplitude-frequency characteristics (AFC) of this transducer Fig. 3. The basic resonant frequency of transducer curving oscillations is ~ 2,5 kHz.

Measurements were carried out in piezotransformer mode. The sound pressure was also measured on resonant frequency by the sound level meter RFT.

The inductance coils (L_{ad}) 0,24, 1,0 and 2,4 H were made for carrying out the experiments. These inductances with capacity C_{el} (17 nF) form resonant frequencies 2,5, 1,22 and 0,8 kHz (Fig. 3). AFC of the transducer were measured by the connection of each of inductances (Fig. 7, b,c,d).

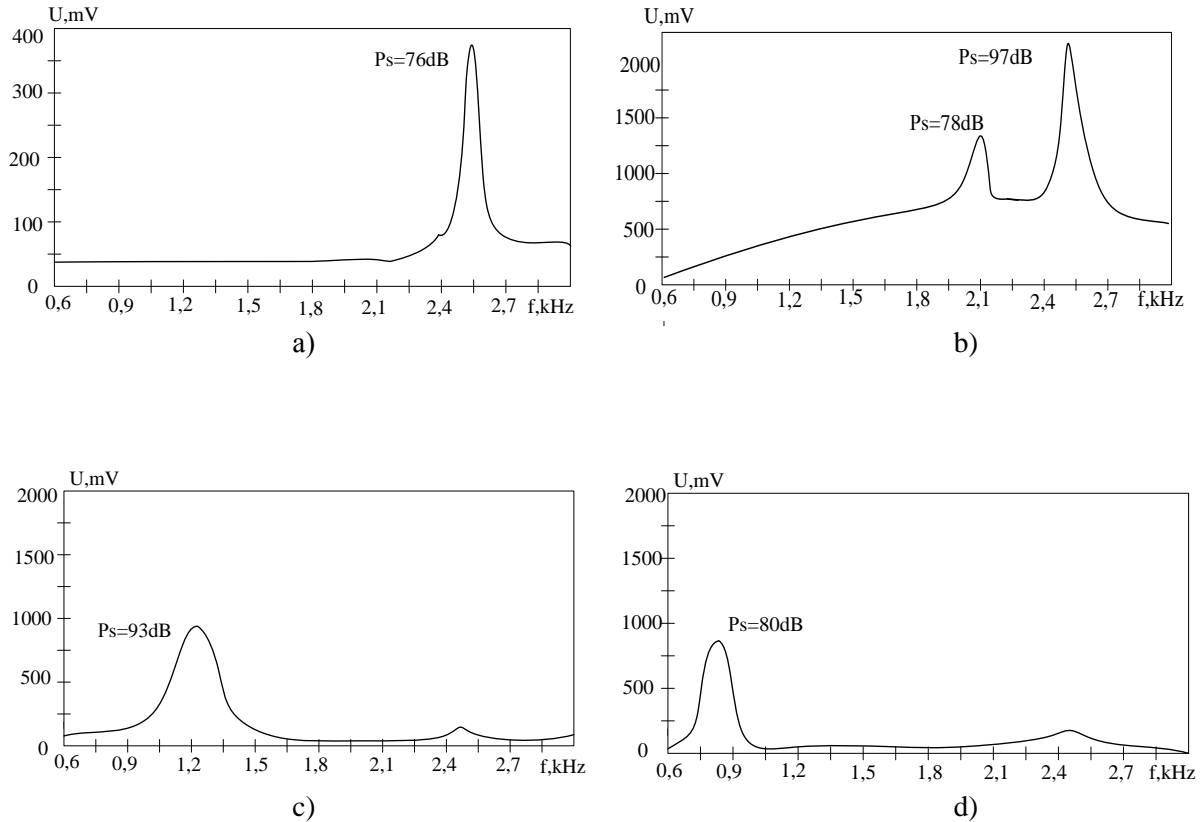


Fig. 3. AFC of transducer 3П-19 at inductance addition (Fig. 2):

a) $L_{ad} = 0$; b) $L_{ad} = 0,24$ H; c) $L_{ad} = 1,0$ H; d) $L_{ad} = 2,4$ H

The own (active) resistance of losses r_0 has been measured simultaneously on the specified frequencies r_0 (Tab. 1) [7]. Table 1 It is visible, that the value of losses in piezoelement increases with fall of frequency.

Table 1

The main parameters of the piezoelectric element at different frequencies

Frequency, kHz	0,8	1,2	2,5
$r_0, k\Omega$	9,3	5,9	3,9
Sound pressure, dB	80	93	97

It is visible, that, using additional oscillatory contours, created by means of additional inductance and interelectrode capacity of a piezoelement, there is a possibility of creation of low-frequency acoustic fluctuations by means of rather high-frequency transducer (Fig. 3).

Several variants of transducer circuits with additional oscillatory circuits are shown on Fig. 4.

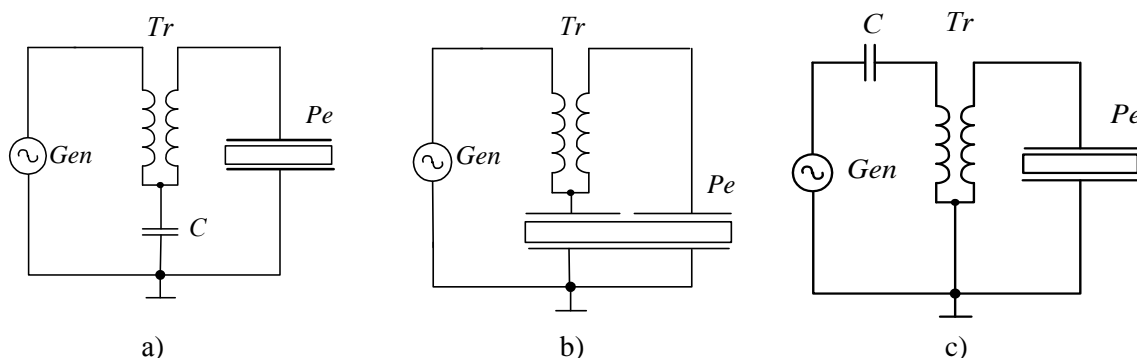


Fig. 4. Transducers with additional oscillatory circuits

Such transducers allow to increase the output power (sound pressure). If you choose the value of f_{ad} close to f_r , you can increase the sound pressure level and expand the transducer bandwidth. This is true for transducers that are used in medical acoustics.

Transducers with the properties of differentiating and integrating circuits can be obtained by connecting active resistances to the piezoelectric element.

Conclusions. If use additional oscillatory circuits with the help of additional inductance and the interelectrode capacitance of the piezoelectric element, can create acoustic low-frequency oscillations, increase the sound pressure level, expand the transducer bandwidth. If active resistances are connected to the piezoelectric element, then transducers with the properties of differentiating and integrating circuits can be obtained.

Інформаційні джерела

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
2. Sharapov V. Piezoceramic sensors. – Springer Verlag, 2011. – 498 p.
3. Шарапов В.М., Минаев И.Г., Сотула Ж.В., Базило К.В., Куницкая Л.Г. Пьезокерамические трансформаторы и датчики. – Черкассы: Вертикаль, 2010. – 278 с.
4. Piezoelectric Electroacoustic Transducers / V. Sharapov, Zh. Sotula, L. Kunickaya. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2014. – 230 p.
5. Ультразвук. Маленькая энциклопедия // Под ред. Голяминой И.П. – М.: Сов. энциклопедия, 1979. – 400 с.
6. Шарапов В.М. Спосіб створення акустичних коливань за допомогою п'єзоелемента. Патент України №56930. Н04R 17/00. Бюл. №2. 2011.
7. Шарапов В.М., Сотула Ж.В., Минаев И.Г., Молчанов П.А., Савин В.Г., Моргун И.О. Исследование внутреннего трения в пьезокерамических элементах электроакустических преобразователей / Вісник ЧДТУ. - 2011. - №2.

Куницька Л. Г., к.т.н., доцент, Кісіль Т. Ю., к.т.н., доцент, Туз В. В., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет

ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ МЕДИЧНИХ АКУСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Створення і вдосконалення спеціальних п'єзокерамічних датчиків для медичної акустичної діагностики має дуже велике значення. Такі датчики характеризуються високою чутливістю і лінійністю амплітудно-частотної характеристики в широкому діапазоні частот.

У даній роботі розглянуті питання вдосконалення п'єзокерамічних електроакустичних перетворювачів за допомогою методу додаткових елементів. Використовуючи додаткові коливальні контури, що створюються за допомогою додаткової індуктивності і міжелектродної ємності п'єзоелемента, існує можливість створення акустичних низькочастотних коливань на базі порівняно високочастотного перетворювача. Також

можна не тільки підвищити рівень звукового тиску, а й розширити смугу пропускання перетворювача, що актуально для перетворювачів, які використовуються в медичній акустиці. При підключенні до п'єзоелемента активних опорів можуть бути отримані перетворювачі з властивостями диференціюючих та інтегруючих ланцюгів.

Ключові слова: п'єзоелектричний елемент, перетворювач, еквівалентна схема, індуктивність, ємність, амплітудно-частотна характеристика.

Куницкая Л. Г., к.т.н., доцент, Кисиль Т. Ю., к.т.н., доцент, Туз В. В., к.т.н., доцент
Черкасский государственный технологический университет

УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Создание и совершенствование специальных пьезокерамических датчиков для медицинской акустической диагностики имеет очень большое значение. Такие сенсоры характеризуются высокой чувствительностью и линейностью амплитудно-частотной характеристики в широком диапазоне частот.

В данной работе рассмотрены вопросы совершенствования пьезокерамических электроакустических преобразователей с помощью метода добавочных элементов. Используя дополнительные колебательные контуры, создаваемые с помощью дополнительной индуктивности и межэлектродной емкости пьезоэлемента, существует возможность создания акустических низкочастотных колебаний на базе сравнительно высокочастотного преобразователя. Также можно не только повысить уровень звукового давления, но и расширить полосу пропускания преобразователя, что актуально для преобразователей, используемых в медицинской акустике. При подключении к пьезоэлементу активных сопротивлений могут быть получены преобразователи со свойствами дифференцирующих и интегрирующих цепей.

Ключевые слова: пьезоэлектрический элемент, преобразователь, эквивалентная схема, индуктивность, емкость, амплитудно-частотная характеристика.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2018

UDC 621.

¹V. Marchuk, D.Sc., ²T. Dzhuguryan, D.Sc., ¹I. Marchuk, Ph.D., ¹N. Oleksin, ¹L. Sachkovska

¹Lutsk National Technical University

²Shetsin maritime academy (Poland)

TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR SMOOTHING OF THE SURFACE LAYER OF PARTS

Abstract. *In the article the justification of the parameters of the polishing regimes in the processing of surfaces of parts with the purpose of smoothing their surface layer. The procedure was developed calculating the time of the whole process of processing parts made of copper and aluminum, the time of each transition and the grain size of the abrasive at each transition.*

Keywords: *abrasive polishing, roughness parameters, granularity abrasive, smoothing of the surface layer, processing time.*

Introduction and statement of the problem. Reduced labor input and production costs and the improvement of their quality is the most important task [1]. Numerous studies have established that the decisive role in providing the state of the surface layer plays the active characteristics, which finally is formed at the finish operations. It is known [1, 2] that the efficiency and productivity of abrasive processing depend on the technological environment, which includes the polisher, the abrasive and non-abrasive component of the technological composition and the material blanks. Traditional approaches [1, 2], possessing a well-developed apparatus, do not allow to take into account explicitly the peculiarities of the dynamics of the polishing process with respect to grinding. All this reduces the effectiveness of making technological decisions and makes them few suitable in practice. Currently, recommendations on the use of abrasive materials for polishing are not enough information on the processing time to achieve the greatest smoothing of the surface layer. Therefore, the research task is to analyze the literature sources that have recommendations for reducing the polishing time for achieving predetermined smoothing of the surface layer. Develop a tool model for abrasive polishing and recommend ways to achieve the goal.

The aim of the work. Is to develop a model for the formation of the values of the altitude parameters of the surface roughness in abrasive polishing, taking into account the graininess of the abrasive, and also obtaining the dependence for determining the processing time when the a given surface roughness and the smallest number of processing cycles.

Results of the work. The problem of increasing the operational characteristics of parts by technological methods are devoted to the work of Ryzhov E.V., Yascheritsyn P.I., Sulimy A.M., where the main scientific positions are formulated. Machining by cutting with the achievement of minimum surface roughness is devoted to the work of Grebenshchikova I.V., Orlova P.N., Fedotova A.I. etc. In the existing works, the authors attribute the changes in optical properties to the change in the nature of the nonmetallic film, and the effect of roughness is not considered. In some works attention is drawn to the need for smoothing the surface layer to enhance reflectivity [3, 4]. The most effective anti-aliasing is achieved when abrasive polishing [5].

When modeling the polishing process, it is necessary to take into account the speed and trajectory particle movements, their dimensions and granularity, mechanical properties of the material of the component. The model of the abrasive tool during polishing can be represented in the form of the circuit. Abrasion polishing, depending on the nature of the abrasive media used and technological fluids is a mechanochemical smoothing process surface layer by plastic deformation of microroughness, removal of oxides from the surface being treated. The polishing process is followed by successive application to the surface processed parts of a large number of scratches and traces of plastic deformation when they overlap and intersect.

The technological liquid ensures the removal of wear products (metal particles and abrasive particles) from the surface of the processed details, helps to cool the surface layer of the workpiece.

The intensity of processing depends on the dynamic parameters determined by the polishing modes, the duration of polishing, the characteristics and dimensions of the abrasive particles, and the characteristics of the mechanical properties of the material of the part.

The cutting tool is formed directly during processing as abrasive an environment with special properties and certain internal connections. The complex geometric shape of the grains and their cutting parts is one of the most important characteristics abrasive tools. Parameters of the cutting profile of abrasive granules (clusters of abrasive grains) is determined by the size and location of the

abrasive grains. In a single interaction of the abrasive granule with the surface of the workpiece through a section of roughness of the surface to be treated, perpendicular to the direction of relative movement of the granule, several layers of a certain thickness pass. Elementary cutting profiles will be randomly superimposed on each other, and on the surface of the part will be copied their envelope, which is an effective cutting profile of the granule, which it is unstable and varies randomly. Surface roughness profile in the cross-section of abrasive scratches copies the effective cutting profile of the granule, will depend on the depth of the introduction of the h_{\max} grains, on the initial roughness of the workpiece surface, and on the distribution parameters of the vertices of the abrasive grains in height.

The abrasive tool will first contact the projections of the initial roughness of the surface, with gradual rounding of the protrusions. In the polishing process, the height parameters of the profile of the initial roughness of the surface will decrease, and the step parameters will change insignificantly. If the polishing process is stopped after 30 seconds from the start of polishing, then at the initial roughness after grinding a part of the initial microrelief will remain, while the roughness of the surface of the part will consist of smoothed protrusions.

The reference surface of the machined part at levels of 10, 20, 30, 40 % will be significantly increased in comparison with the original, and the basins of the microrelief will remain unchanged. Continuation of the polishing process will lead to the complete removal of the protrusions of the initial roughness. Ratio of altitude parameters R_a / R_{\max} will decrease in this case. This indicates the occurrence of a large number of scratches on the polished surface, associated with the presence of an enlarged fraction in commercially available abrasive powders. In the future, the polishing process is stabilized. The relief characteristic for the polishing process will be constantly reproduced, its parameters will not change over time, but will be determined by processing modes and graininess applied abrasive.

We studied the influence of abrasive graininess and the duration of preliminary treatment on the values of the height parameters of the surface roughness for samples from steel 30X1CA.

From the graph [1, 2] it can be seen that the intensity of the change R_{\max} does not correspond to the rate of change of values R_a . With increasing grain size, the abrasive value R_{\max} are increasing.

With increasing processing time, the intensity of the change R_{\max} sharply increases that can be explained by crushing the grains during processing, hence the processing process it is necessary to stop before the intensive destruction of grains. As with the reduction in the grain size (with the force of pressing the polishing pad unchanged), the contact pressure increases and, accordingly, the depth of scratching by a single crushed grain should be greater, R_{\max} increases while preserving the smoothing effect. Ascending contact pressure contributes to the simultaneous collision of many abrasive grains, increasing the energy of motion of crushed

grain. From the graph we see that the ratio R_a / R_{\max} in the initial period of polishing to 90 seconds decreases slightly, and with an increase in processing time above 90 seconds the value of this ratio decreases and is 0,087. The value of the ratio of the altitude parameters depending on the graininess of the abrasive tape varies slightly, but when polishing with diamond paste small granularity (ACM 2/1), the values of this ratio are sharply reduced.

To solve this problem, we use the paper [1], which gives the dependence of the removal rate Q on the parameters of the polishing process:

$$Q = k \cdot V^a \cdot c^{b_1} \cdot e^{b_2 c} \cdot p^{d_1} \cdot e^{d_2 p}, \quad (1)$$

where V – is the cutting speed, m/s; P - pressure, kPa; c – is the density of the abrasive slurry, G/ml; K, a, b, d are the coefficients.

We have obtained dependencies characterizing the change in the removal of the material from the part from one variable for fixed values of two variables.

Cutting speed with changing cutting speed:

$$Q(V) = 2,39 \cdot 10^{-2} \cdot V^{1,15} \quad (\text{with } c = 2 \cdot 10^{-2} \text{ g/ml; } p = 12 \cdot 10^2 \text{ kPa}).$$

Rate of removal when pressure changes:

$$Q(p) = 0,68 \cdot 10^4 \cdot p^{-3,38} \cdot e^{0,0173 p} \quad (\text{with } V = 0,2 \text{ m/s; } p = 12 \cdot 10^2 \text{ kPa}). \quad (2)$$

The rate of removal when the concentration of abrasive suspension is changed:

$$Q(c) = 1,14 \cdot 10^8 \cdot c^{5,64} \cdot e^{1,46c} \quad (\text{with } V = 0,2 \text{ m/s}; p = 12 \cdot 10^2 \text{ kPa}).$$

In fig. 1 shows the experimental and calculated points obtained by the formulas (2). The discrepancy between the calculated and experimental values of material removal no more than 3 %.

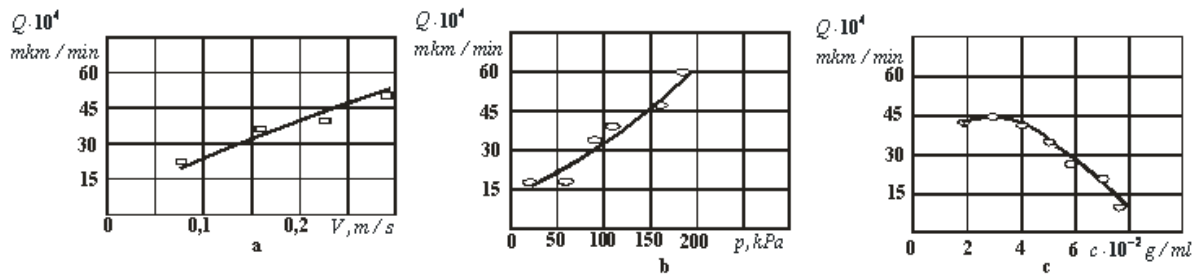


Fig. 1. Dependence of the removal rate Q on the process parameters of the abrasive process: the linear velocity V (a); pressure p (b); is the density of the suspension c (c)

To smooth the surface layer of the parts, a minimum number of technological cycle transitions to obtain minimum values poneycomb parameters of surface roughness. At the end of the first processing cycle, we get surface, the roughness of which R_1 , and the altitude parameter of the initial liability R_0 . When performing N cycles, we obtain N surfaces with intermediate values of high-altitude roughness parameters R_i in accordance with different transition. The number of transitions and the intermediate value of the surface roughness depends on the physicochemical properties of the surface to be treated, its shape, processing time, properties and graininess of abrasive material.

In abrasive polishing, we believe that the maximum depth of grain penetration is equal to the diameter of the abrasive particle or its maximum size. In this case, the height parameters of the surface roughness and the material removal rate at each transition are proportional to the dimensions of the abrasive particles:

$$R_{z_i} = \beta \cdot D_i; \quad Q_i = \alpha \cdot D_i, \quad (3)$$

where D_i – diameter of abrasive particles at the i -th junction ($i = 1, 2 \dots N-1$); α and β – Coefficient the proportionality factors, determined empirically, are constant for this processing process.

It follows from (3) that

$$Q = \frac{\alpha}{\beta} \cdot R_{z_i}. \quad (4)$$

In table. 1 shows the values of the rate of polishing and roughness during processing for one hour parts from copper by various fractions of diamond micropowders.

The size of the allowance h , corresponding to the depth of the defective layer, has the form:

$h_i = k \cdot R_{z_{i+1}}$, where k is the coefficient of proportionality, which determines the amount of material removed in time t_1

$$t_i = \frac{F_i}{Q_i} = \gamma \cdot \frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}},$$

where $\gamma = \frac{k\beta}{\alpha}$ with $i = 1, 2, \dots, N$.

Table 1

Results of abrasive polishing			
Surface roughness after milling R_1 , mkm	The diamond-micro-powders, ACM	Spee Polishing $Q \cdot 10^3$ mkm/min	Roughness after polishing, R_z
0,32	5/3	5,325	0,032
0,32	3/2	3,225	0,05
0,32	10	1,35	0,020

The total processing time for all cycles is:

$$T_i = \sum_{i=1}^N t_i = \gamma \cdot \sum_{i=1}^N \frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}}. \quad (5)$$

To optimize the process by the minimum criterion, the total processing time (5) it is necessary to determine the optimum values of the intermediate surface roughness R_{z_i} $i=1, 2, \dots, N-1$:

$$R_{z_i} = R_{z_{i-1}} = R_{z_{i+1}}.$$

With $i=1, 2, \dots, N-1$, whence

$$\frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}} = \frac{R_{z_i}}{R_{z_{i+1}}}. \quad (6)$$

Taking formula (6) into account, it follows from Eq. (5) that under the optimal process, the transition time is the same, i.e. $t_1 = t$. This is true for surface treatment details with the same value of the height parameters of the roughness of the initial surface. However, this is not confirmed for samples with different initial surface roughness, since with decreasing initial roughness of the surface, the processing time sharply decreases. This is confirmed by the results of the experiment .

Dependency analysis shows that:

- time of stabilization of the process of formation of the altitude parameter of roughness the surface depends little on the grain size of the abrasive (from M3 to M28);
- time of stabilization of the process of formation of the altitude parameter of roughness surface significantly decreases with a decrease in the height parameter of the initial roughness of the surface before processing. When the initial roughness parameter of the surface is decreased R_a in 5,23 times (from 34 microns to 0,065 microns), the stabilization time R_a the treated surface is reduced 8 times (from 320 seconds to 40 seconds).

Thus, with smoothing, the top layer of the part, the cycle time of the subsequent finish operation will decrease more intensively than the reduction of the initial roughness parameter before processing;

- for each grain of abrasive material, there is a limit on stabilization values of the altitude parameter of the surface roughness, and this is very important when assigning a sequence of use of working media for smoothing the surface layer details. It should be noted that this limit will depend on the initial state of the surface of the part before processing. We are interested in the smallest limiting value R_a , achieved by surface polishing under different processing conditions.

The optimal values of the total processing time can be determined from the following expression:

$$T = \gamma \cdot N \cdot \left(\frac{R_{z_0}}{R_{z_N}} \right)^{1/N}. \quad (7)$$

The optimal number of cycles is obtained by considering the total time T as a function of number of cycles N .

Define its minimum:

$$N_{min} = \ln \frac{R_{z_0}}{R_{z_N}^{1/N}}.$$

The optimum value of diameters of abrasive particles at each transition is:

$$D_i = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{R_{z_N}^{1/N}}{R_{z_0}^{1/(N-1)}} = \frac{1}{\beta} \cdot R_{z_0} \cdot \left(\frac{R_{z_N}}{R_0} \right)^{1/N}.$$

at $i=1, 2, \dots, N$.

Carrying out similar calculations for the cases of surface treatment with changing physical and chemical properties, the expressions will take the form:

$$T_{opt} = \gamma \cdot N \cdot \left(x \cdot \frac{R_{z0}}{R_{zN}} \right)^{1/N}, \quad (8)$$

at

$$N = 2,3 \cdot \ln \left(x \cdot \frac{R_{z0}}{R_{zN}} \right). \quad (9)$$

From the foregoing it can be seen that the coefficients x and γ reflect the dependence of the polishing rate on the microhardness, the density of the material being processed and the grain size diamond micropowder. It was experimentally established that for diamond micropowders of the corresponding granularity the value x is 0,06, γ is 1.7. Consequently, the optimal variant of the polishing process from the point of view of minimum transitions when processing a metallic mirror surface is determined only by the roughness height surface before and after treatment. It should be noted that the minimum number of transitions depends on the physical and chemical properties of the abrasive, the initial roughness of the surface $R_{z0} = D_0 \cdot \beta$, Granularity of diamond micropowders $D_N = \beta \cdot R_{zN}$, Used at the last transition. The developed technique was used to optimize the polishing process of a copper mirror surface [6]. For the initial state, samples were taken with the surface treated to $R_a = 0,5$ mkm. At the final stage of processing, the roughness was $R_z = 0,032 \dots 0,025$ mkm.

Then the optimal number of cycles is 3, and the time (averaged for the upper and lower limits) is $T = 7,87$ min. Studies have shown that the estimated time from the experimental difference is 20 % ($T_{econ} = 9,5$ min), which corresponds to an error $\varepsilon = 0.01$. For abrasive compounds, the grain sizes at the respective stages processing: $D_1 = 3,1214 \dots 5$ mkm; $D_2 = 1,1543 \dots 2,05$ mkm; $D_3 = 0,425 \dots 0,8$ mkm which corresponds to granularity of abrasives 5/3; 3/2; 1/0.

Conclusions:

1. In work theoretically and experimentally revealed patterns the formation of surface roughness when polishing with abrasive materials of various grain sizes of copper and aluminum parts.
2. The rationale for optimal parameters of polishing modes for surface treatment of specified parts for the purpose of smoothing of their surface layer.
3. Based on the studies carried out, a the procedure for calculating the time of the entire processing process, the number of transitions, the time of each transition and the grain size of the abrasive at each transition.

References

1. Technological support of operational properties of machine parts / E.V. Ryzhov, A.G. Suslov, V.P. Fedorov. - Moscow: Mechanical Engineering, 1979. - 176 p.
2. Abrasive and diamond processing of materials: Handbook / Ed. A.N. The Reznikov. - M.: Mechanical Engineering, 1977. - 391 p.
3. Nazarov Yu.F., Melnikov O.N. Selecting the optimal route for machining parts taking into account the technological heredity // Bulletin of the Machine Builder. - 1986. - № 6. - S. 47-49.
4. Investigation of the dependence of the polishing rate on technological factors processing / Ruban V.M., Nazarov Yu.F., Lurie G.B., Romanova V.I. // Diamonds and superhard materials. - 1980. - Issue. 10. - P. 89.
5. Shkurupy V.G., Nazarov Yu.F. Smoothing of the surface layer of copper parts and aluminum during their abrasive polishing // Protection of metallurgical machines from breakages.- Mariupol: PSTU, 2010. - Issue 12. - P. 281-286.
6. Tsesnek L.S., Sorokin O.V., Zolotukhin A.A. Metal mirrors. - M.: Machine-Structure, 1983. - P. 353.
7. I. Marchuk, A. Eshteivili, M. Oleksin. Temperature control centreless grinding to polishing operations // "Perspective technologies and devices". Collected scientific papers. № 10(1). - Lutsk: LNTU, 2017. - P. 133-138.
8. I. Marchuk, F. Novikov., T. Dzhuguryan, V. Marchuk., M. Oleksin The determination of the conditions for reducing the temperature of centrifugal grinding by intermittent circles. Materials of the

Third All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Instrumentation and Metrology: Modern Problems, Developmental Trends» 11-12 October 2018 - Lutsk: Lutsk NTU - P.42

9. I. Marchuk, T. Dzhuguryan, A. Eshteivili. Features of formation of microrelief of the surface of rotation on towing operations. Collected scientific papers // Perspective technologies and devices. Lutsk: LNTU, №7(2) 2015 P.34-38.

10. V. Marchuk, I. Marchuk, A. Eshteivili Model of stabilization high-frequency oscillatory processes in dynamic systems round infeed grinding. Collected scientific papers. – Lutsk: LNTU, 2016. – Perspective technologies and devices №9. - P.75-83.

¹Марчук В. И., ²Джугурян Т. Г., ¹Марчук И. В., ¹Олексин Н. В., ¹Сачковська Л. А.,

¹Луцкий национальный технический университет

²Щецинская морская академия (Польша)

В статті приведено обґрунтування параметрів режимів полірування при обробці поверхностей деталей з метою згладжування їх поверхнового шару. Розроблена методика розрахунку часу всього процесу обробки деталей з міді та алюмінію, кількості переходів, часу кожного переходу і зернистості абразива на кожному переході.

Ключевые слова: абразивное полирование, параметры шероховатости, зернистость абразива, згладжування поверхнового шару, время обробки.

¹Марчук В. И., ²Джугурян Т.Г., ¹Марчук І. В., ¹Олексин М. В., ¹Сачковська Л. О.

¹Луцький національний технічний університет

²Щецинська морська академія (Польща)

У статті наведено обґрунтування параметрів режимів полірування при обробці поверхонь деталей з метою згладжування їх поверхневого шару. Розроблено методику розрахунку часу всього процесу обробки деталей з міді та алюмінію, кількості переходів, часу кожного переходу і зернистості абразиву на кожному переході.

Ключові слова: абразивний полірування, параметри шорсткості, зернистість абразиву, згладжування поверхневого шару, час обробки.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2018

УДК 621.822.681.2:369.64

Олексин М.В.

Луцький національний технічний університет

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

В роботі проведена серія експериментальних досліджень, що підтвердила результати моделювання температурних процесів в зоні безцентрового переривчастого шліфування заготовок кілець. Побудовані поверхні відгуку залежності параметра шорсткості R_a від режимів шліфування та числа канавок шліфувального круга покладені в основу розробленої методики проектування шліфувальних операцій і інструментальних налагоджень шліфувальних верстатів. Зона контакту абразивного круга з деталлю представляє вузьку смужку прямокутної форми, що рухається вздовж поверхні деталі. Температурне поле в такому випадку можна розраховувати за схемою рухливого нескінченно довгого поверхнево-смугового джерела. Розроблено план, програму та апаратне забезпечення експериментальних досліджень зв'язків конструкторсько-технологічних чинників та показників шліфувальних операцій з параметрами якості шліфованих поверхонь, температурою шліфування, силовими параметрами процесу шліфування переривчастими шліфувальними кругами та конструктивними параметрами переривчастих шліфувальних кругів.

Ключові слова: круг, шліфування, кільце, температура, якість.

Під час шліфування температурне поле в системі координат, зв'язаної з джерелом, починає прямувати до стану теплового насичення, процес встановлюється і поле стає квазістаціонарним. Інтервал до настання наступного циклу повинен бути таким, щоб поверхня встигла охолонути до вихідної температури. Такий процес можна реалізувати, якщо поверхню абразивного круга зробити не суцільною, а переривчастою, тобто розбити її на ряд виступів, які чергуються. Для визначення розмірів різального виступу та канавок необхідно знати час теплового насичення та час охолодження до вихідної температури.

Для вирішення даної теплової задачі, пов'язаної з розрахунком температури в зоні різання у роботі було прийнято наступну розрахункову схему (рис.1) [1, 2].

Математична модель визначення температури при шліфуванні, заснована на урахуванні балансу тепла, що переходить в стружку і в заготовку. У розрахунковій схемі [1, 2, 3] припуск на обробку, за аналогією з роботами проф. Якімова О.В., представлений пакетом нескінченно тонких адіабатичних стержнів, які в процесі шліфування перерізуються зі швидкістю V_{piz} . Для моделювання теплових процесів в зоні різання прийнята умова, що за час дії теплового джерела τ відбулося перерізання адіабатичного стержня довжиною l_1 , тобто теплове джерело

перемістилося уздовж стержня на величину $l_1 = V_{piz} \cdot \tau$, і за цей час у результаті різання

виділена кількість тепла Q . Це тепло, передається на нагрівання стружки, що утворюється, тобто ділянки стержня довжиною l_1 , а кількість тепла рівне Q_1 . З іншої сторони, на нагрівання ділянки стержня довжиною l_2 завдяки теплопровідності матеріалу заготовки, витрачена кількість тепла Q_2 . Рівняння балансу тепла складатиметься з умови $Q = Q_1 + Q_2$.

Кількість тепла Q_1 визначається наступним чином. Стержень довжиною l_1 умовно розбиваємо на нескінченну множину елементарних ділянок довжиною Δl (рис.1).

Припустимо, що кожна з елементарних ділянок нагрівається до різної температури: перша – до температури θ_1 , друга – до температури θ_2 і т.д. Тоді кількість тепла, яке витрачається на нагрівання першої ділянки стержня довжиною l_1 , буде рівна:

$$Q_{l_1} = c \cdot m_1 \cdot \theta_1, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність матеріалу заготовки, Дж/(кг·К); $m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot S \cdot \Delta l$ – маса першої ділянки стержня довжиною Δl , кг; ρ – густина матеріалу заготовки, кг/м³; V_1 – об'єм першої ділянки стержня довжиною Δl , м³; S – площа поперечного перерізу стержня, м².

Після перетворень залежність (1) матиме вигляд:

$$Q_{l_1} = c \cdot \rho \cdot S \cdot \Delta l \cdot \theta_1. \quad (2)$$

Аналогічним чином визначається кількість тепла Q_{12} і Q_{1n} , які витрачаються на нагрівання 2-ї і n -ї ділянок стержня:

$$Q_{l_2} = c \cdot \rho \cdot S \cdot \Delta l \cdot \theta_2, \quad (3)$$

$$Q_{l_n} = c \cdot \rho \cdot S \cdot \Delta l \cdot \theta_n. \quad (4)$$

Аналогічною послідовністю визначаємо кількість тепла Q_2 , яке витрачається на нагрівання адіабатичного стержня довжиною l_2 :

$$Q_2 = c \cdot m \cdot \theta_2 \cdot 0,5. \quad (5)$$

Після перетворень залежність (6) матиме вигляд:

$$Q_2 = 0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot S \cdot l_2 \cdot \theta_2. \quad (6)$$

Рівняння балансу тепла складається за умови $Q = Q_1 + Q_2$ і представлено у вигляді диференціального рівняння зміни температури в часі $\theta = \theta(\tau)$:

$$\frac{d\theta}{d\tau} \cdot \theta + A \cdot \theta = B, \quad (7)$$

де $A = \frac{V_{\text{риз}} \cdot N}{\lambda \cdot S}$; $B = \frac{N^2}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot S^2}$; N – потужність теплового джерела, Вт; λ – коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/м·К.

Після розв'язку диференціального рівняння у відносних величинах отримаємо:

$$l_1 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{\text{риз}}} \bar{l}_1; \quad \bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z; \quad z = \frac{\theta}{\left(\frac{\sigma}{c \cdot \rho}\right)}, \quad (8)$$

де z – безрозмірна величина, яку назовемо відносною величиною температури; $\sigma = q/V_{\text{риз}}$ – умовне напруження різання, Н/м²; q – щільність теплового потоку, Вт/м² [150].

Із залежності (3.8) випливає, що відносна величина температури z зі збільшенням довжини стержня $l_1 = V_{\text{риз}} \cdot \tau$ (або часу контакту τ шліфувального круга зі стержнем) збільшується приблизно за експонентним законом, асимптотично наближаючись до одиниці (рис. 3.2). Це свідчить про існування сталого в часі теплового процесу при шліфуванні, реалізованого при відносно великих значеннях \bar{l}_1 (або τ), наприклад, при глибинному шліфуванні.

Використовуючи отримане рішення, визначені основні параметри теплового процесу при шліфуванні: довжина стержня l_2 , рівна товщині поверхневого шару заготовки, у якому концентрується тепло; миттєва швидкість V_θ поширення тепла вглиб розглянутого адіабатичного стержня; частки тепла Q_1/Q і Q_2/Q , що передаються, відповідно в стружку, що утворюється, і в оброблювану деталь:

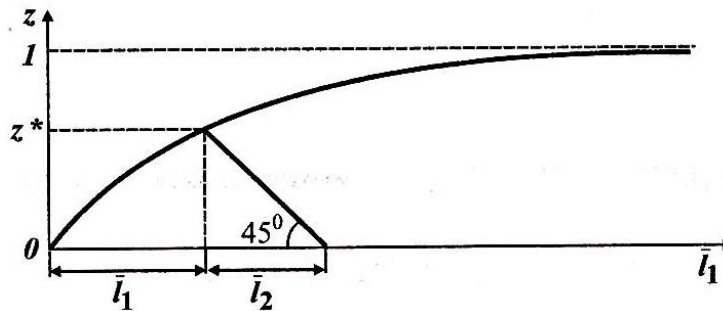


Рис. 1. Залежність відносної величини температури z від безрозмірної величини \bar{l}_1

$$l_2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{pi3}} \bar{l}_2; \quad \bar{l}_2 = z; \quad V_\theta = V_{pi3} + \frac{dl_2}{d\tau} = \frac{V_{pi3}}{z}, \quad (9)$$

$$\frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}; \quad \frac{Q_2}{Q} = \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}. \quad (10)$$

З наведених залежностей витікає, що довжина стержня l_2 змінюється за законом зміни відносної величини температури z [1, 2, 3]. Миттєва швидкість V_θ , навпаки, зі збільшенням z безупинно зменшується, асимптотично наближаючись до значення V_{pi3} [4].

Відносні величини Q_1/Q і Q_2/Q визначаються лише одним параметром – відносною величиною температури z , рис. 2. Отже, зменшення величини z припускає зменшення Q_1/Q збільшення Q_2/Q за рахунок зменшення добутку параметрів $l_1 \cdot V_{pi3}$ відповідно до залежності (8). Цим показано, що розподіл тепла між стружками, що утворюються, і поверхневим шаром оброблюваної деталі обумовлений температурою шліфування.

По адіабатичній граничній поверхні напівнескінченного твердого тіла, теплофізичні властивості якого не залежать від температури, з нульовою початковою температурою у додатньому напрямку вздовж осі Z з постійною швидкістю V_θ швидко рухається нескінченно протяжне смугове сегментоподібне джерело тепла шириною $2h$, з рівномірно розподіленою по площі контакту, постійною в часі щільністю теплового джерела g , при цьому впливом теплообміну на розподіл температури поза джерелом знехтували, та ввели припущення, що поверхня теплоізована, тобто $X=0$.

Для того щоб виконувати розрахунки з позитивними значеннями аргументу початок системи координат, зв'язаної з джерелом, помістимо на задню поверхню джерела. За цих умов

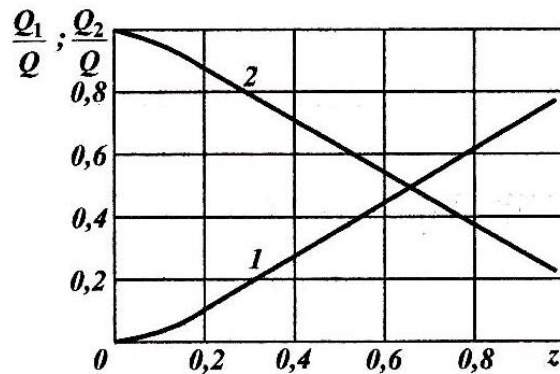


Рис. 2. Залежності величин Q_1/Q (1) і Q_2/Q (2) від

математична задача сформулюється наступним чином: маємо основне диференціальне рівняння теплопровідності, що з урахуванням руху теплового джерела має вигляд:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right) + V_\theta \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2}, \quad (11)$$

де θ – температура; a – коефіцієнт теплопровідності; V_θ – швидкість деталі (заготовки); τ – час контакту круга з заготовкою.

За граничних умов впливає, що: $\theta|_{\tau=0} = 0$, $\theta|_{X=\infty} = 0$ отже;

$$-\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{x=0, -h < z < 2h} = g; \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{x=0, -h < z < 2h} = 0, \quad (12)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; g – щільність теплового потоку.

Таким чином, задача знаходження розв'язку рівняння теплопровідності (11) зводиться до вирішення рівняння $\theta = (X, Y, Z, \tau)$ методом теплових джерел. Суть методу теплових джерел полягає в тому, що будь-який процес можна представити як суму процесів вирівнювання температури від нескінченної кількості елементарних джерел тепла, розподілених у просторі та часі. Дія елементарного джерела в нескінченному масиві характеризується функцією джерела:

$$\theta(X, Y, Z, X', Y', Z', \tau) = \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot \tau)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{(X - X')^2 \cdot (Y - Y')^2 \cdot (Z - Z')^2}{4a \cdot \tau}\right), \quad (13)$$

де Q – кількість тепла, що миттєво виділилося в точці з координатами X', Y', Z' ; c – питома теплоємність; ρ – густина матеріалу.

Під час руху джерела в позитивному напрямку осі Z або під час руху теплопровідного середовища відносно джерела в протилежному напрямку, координата дії джерела відносно середовища Z' буде безупинно змінюватися на величину $V_\delta \cdot \tau$:

$$\theta = \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot \tau)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{(X - X')^2 \cdot (Y - Y')^2 \cdot (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right). \quad (14)$$

Інтенсивність джерела характеризується щільністю теплового потоку g , що являє собою кількість тепла, яке виділяється на одиницю довжини за одиницю часу.

Якщо до розглянутого моменту джерело рухалося протягом часу τ , то задачу можна розв'язати, провівши інтегрування виразу (14) по Y' від $-\infty$ до $+\infty$; по Z' від 0 до $2h$ і по часу від 0 до τ , тобто:

$$\theta = \int_0^{2h} dZ' \int_{-\infty}^{+\infty} dY' \int_0^\tau \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot \tau)^{3/2}} \exp\left(-\frac{(X - X')^2 \cdot (Y - Y')^2 \cdot (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) d\tau. \quad (15)$$

Вираз (15) описує температурне поле сегментоподібного джерела в процесі насичення. Після інтегрування по Y' було отримано:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(\frac{Y - Y'}{4a \cdot \tau}\right)^2 \cdot dY' &= \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{Y - Y'}{4a \cdot \tau}\right)^2 \cdot dY' = \\ &= 2\sqrt{a \cdot \tau} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{Y - Y'}{2\sqrt{a \cdot \tau}}\right) \cdot d\left(\frac{Y - Y'}{2\sqrt{a \cdot \tau}}\right) = 2\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau}. \end{aligned} \quad (16)$$

Оскільки $\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-u^2) = \sqrt{\pi}$ – інтеграл Гауса, то:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{2g \cdot 2\sqrt{\pi \cdot a}}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a)^{3/2}} \cdot \int_0^{2h} dZ \int_0^\tau \frac{\sqrt{\tau}}{\tau^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{X^2 + (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot d\tau = \\ &= \frac{g}{2c \cdot \rho \cdot \pi \cdot a} \int_0^{2h} dZ \int_0^\tau \frac{1}{\tau} \exp\left(-\frac{X^2 + (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot d\tau. \end{aligned} \quad (17)$$

Розглянемо інтеграл

$$\int_0^{2h} \exp\left(-\frac{X^2 + (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot dZ \quad (18)$$

В ході інтегрування по Z' , введемо заміну:

$$Z_1 = Z - Z'; \quad dZ_1 = -dZ \quad \text{при} \quad \begin{cases} Z' = 0; & Z_1 = Z; \\ Z' = 2h; & Z_1 = Z - 2h. \end{cases} \quad (19)$$

Згідно умови $X=0$, що відповідає поверхні шліфованої деталі отримано:

$$\int_z^{z-2h} \exp\left(-\frac{(Z_1 + V_\partial \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot dZ_1 = \int_{z-2h}^z \exp\left(-\frac{Z_1 + V_\partial \cdot \tau}{4a \cdot \tau}\right)^2 \cdot dZ_1. \quad (20)$$

Після введення позначень:

$$\frac{Z_1 + V_\partial \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = U; \quad \frac{dZ_1}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = dU; \quad dZ_1 = 2\sqrt{a \cdot \tau} \cdot dU, \quad (21)$$

межі інтегрування набули вигляду:

$$\text{при } Z_1 = Z - 2h; \quad \frac{Z - 2h + V_\partial \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = U_1; \quad \text{при } Z_1 = Z; \quad \frac{Z + V_\partial \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = U_2.$$

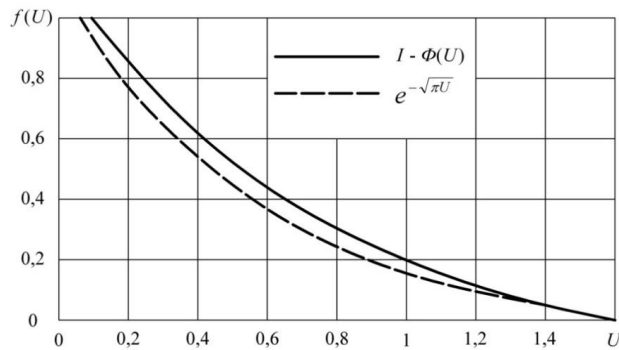


Рис. 3. Порівняльні графіки основної та апроксимуючої функцій

Другим етапом теоретичних розрахунків температури в зоні різання під час оброблення абразивним переривчастим інструментом є визначення величини зниження температури залежно від часу припинення процесу шліфування [3, 4, 5, 6].

Розглянемо задачу про зміну температури вільної поверхні шляхом теплообміну. Зміну середньої температури вважаємо постійною для фіксованого моменту часу. Для оцінки процесу охолодження вільної поверхні прийемо наступну теплову схему: оскільки швидкості охолодження поверхні за рахунок теплообміну з ЗОР після припинення дії джерела тепла великі, то можна знехтувати розсіюванням тепла по осі Z за рахунок теплопровідності. За рахунок введення цього припущення розрахунковий процес охолодження поверхні буде відбуватися дещо повільніше, ніж реальний.

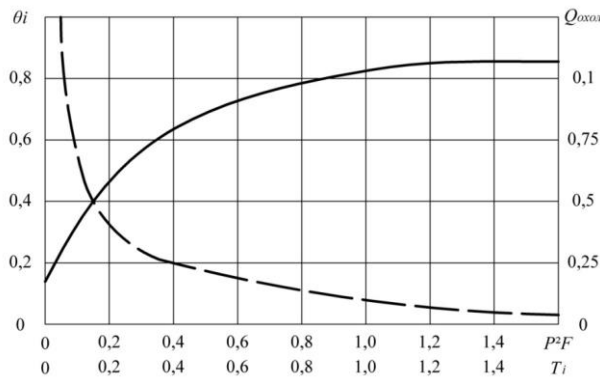


Рис. 4. Зміна температури за часом теплового насичення:

“— — —” - залежність Q_n від комплексу $P^2 \cdot F$; “—” - залежність Q_{oxol} від комплексу θ_i .

Час досягнення визначеної температури залежить від швидкості джерела, що дозволяє змінювати цей час у широких межах. Після того, як процес шліфування припинився, настає невеликий часовий проміжок, протягом якого поверхня охолоджується потоком ЗОР. Проміжок часу між двома сусідніми робочими виступами повинен бути таким, щоб поверхня могла охолонути на визначену величину. Оскільки поверхня в перерві між робочими циклами вільна, теплообмін здатний істотно змінити її температуру.

Висновки. Теоретичне дослідження температур для різних схем шліфування дозволяє зробити висновок, що граничний стан температурного поля (теплового насичення) настає не відразу після початку процесу шліфування. Від початку процесу до встановлення граничного стану існує малий, але фізично відчутний проміжок часу, протягом якого шліфування протікає в нестационарному режимі. Наявність цього тимчасового проміжку можна підтвердити експериментально, шляхом визначення температури. Нестационарний режим роботи в процесі шліфування відкриває принципову можливість зниження контактних температур за рахунок періодичного переривання процесу.

Інформаційні джерела

1. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов, Ю.А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76-78.
2. Марчук В.І. Класифікація та походження температурних дефектів на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання / Марчук, І.В. Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві / Матеріали Шістнадцятої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво», м. Суми, 26-29 жовтня 2016 р. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 102–103.
3. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Новый упрощенный подход к расчету температуры поверхностного слоя детали при ее механической обработке. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С.137–146.
4. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.
5. Марчук І.В., Марчук В.І., Модель стабілізації високочастотних коливних процесів в динамічній системі круглого врізного шліфування. Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2016. – Перспективні технології та прилади №9. - С.75-83.
6. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / М.В. Олексин, А.М. Ештеїві // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.
7. Марчук І.В. Технологічне керування температурою під час безцентрового шліфування функціональних поверхонь обертання/ Марчук В.І. // «Наукові нотатки». Випуск 61. м. Луцьк, 2018 – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – С. 142-147

N. Oleksin

Lutsk National Technical University

TO DETERMINE THE TEMPERATURE OF INTERMITTENT GRINDING OF SURFACES BY ROTATION OF ROLLER BEARING RINGS

The paper presents a series of experimental studies confirmed the results of the simulation of the thermal processes in the zone of discontinuous centerless grinding of workpieces of the rings. The surfaces of the response of the dependence of the roughness parameter Ra on the grinding modes and the number of grooves of the grinding wheel are built on the basis of the developed method of designing grinding operations and tool settings of grinding machines. The contact area of the abrasive wheel with the part is a narrow strip of rectangular shape, moving along the surface of the part. The temperature field in this case can be calculated according to the scheme of a moving infinitely long surface-band source. Plan, program and hardware of an experimental consideration of engineering factors and indicators grinding operations with quality parameters of ground surfaces, the grinding temperature and force parameters of the process grinding of the intermittent grinding wheels.

Keywords: circle, grinding, ring, temperature, quality.

Олексин Н.В.

Луцкий национальный технический университет

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕЦ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

В работе проведена серия экспериментальных исследований, подтвердила результаты моделирования температурных процессов в зоне бесцентрового прерывистого шлифования заготовок колец. Построены поверхности отклика зависимости параметра шероховатости Ra от режимов шлифования и числа канавок шлифовального круга положены в основу разработанной методики проектирования шлифовальных операций и инструментальных настроек шлифовальных станков. Зона контакта абразивного круга с деталью представляет узкую полосу прямоугольной формы, движущуюся вдоль поверхности детали. Температурное поле в таком случае можно рассчитывать по схеме подвижного бесконечно долгого поверхностно-полосового источника. Разработан план, программу и аппаратное обеспечение экспериментальных исследований связей конструкторско-технологических факторов и показателей шлифовальных операций с параметрами качества шлифованных поверхностей, температурой шлифования, силовыми параметрами процесса шлифования прерывистыми шлифовальными кругами и конструктивными параметрами прерывистых шлифовальных кругов.

Ключевые слова: круг, шлифовка, кольцо, температура, качество.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2018

УДК 630.383.7

Рудько І. М., к.т.н., Баріяк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.
Національний лісотехнічний університет України

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ УХИЛІВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІСОВИХ ДОРІГ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАВІТАЦІЙНОГО ІНКЛІНОМЕТРА МАЯТНИКОВОГО ТИПУ

Розглянуто особливості процесу вимірювання ухилів технічних елементів лісових доріг із застосуванням розробленої конструкції гравітаційного інклінометра маятникового типу. Опрацьовано методику вимірювання ухилів поверхонь локальних ділянок місцевості та ділянок місцевості значної протяжності.

Проведено у польових умовах вимірювання ухилів технічних елементів лісової дороги, зокрема земляного полотна, водовідвідних каналів, дорожнього одягу (проїзної частини та узбіч). Експериментальні дослідження проведено на прямих та вертикальних кривих ділянках траси лісової дороги.

На основі набутого досвіду експлуатації приладу розроблено рекомендації щодо його раціонального використання під час будівництва, реконструкції та ремонту лісових дорожніх мереж.

Ключові слова: інклінометр маятникового типу, вимірювання, ухил, лісова дорога, технічний елемент.

Враховуючи переваги та недоліки типових геодезичних приладів, а також складність їх будови, вартість та умови ефективного застосування, для вимірювання ухилів (зокрема й локальних) конструкційних елементів лісових доріг в процесі їх будівництва (реконструювання) та експлуатування розроблено конструкцію та обґрунтовано параметри спеціального гравітаційного інклінометра маятникового типу [1]. Розроблений прилад раціонально використовувати у польових умовах для вимірювання ухилів конструкційних елементів постійних та тимчасових лісових автомобільних доріг, зокрема поверхні та укосів земляного полотна, дна та укосів водовідвідних каналів, поверхні дорожнього покриття і узбіч тощо.

Отож, загалом розроблена конструкція інклінометра дозволяє вимірювати так звані локальні ухили [2] конструкційних елементів лісових автомобільних доріг, а також ухили їх прямих та вертикальних кривих ділянок трас, ухили поверхонь локальних ділянок місцевості та ділянок місцевості значної протяжності (рис. 1).

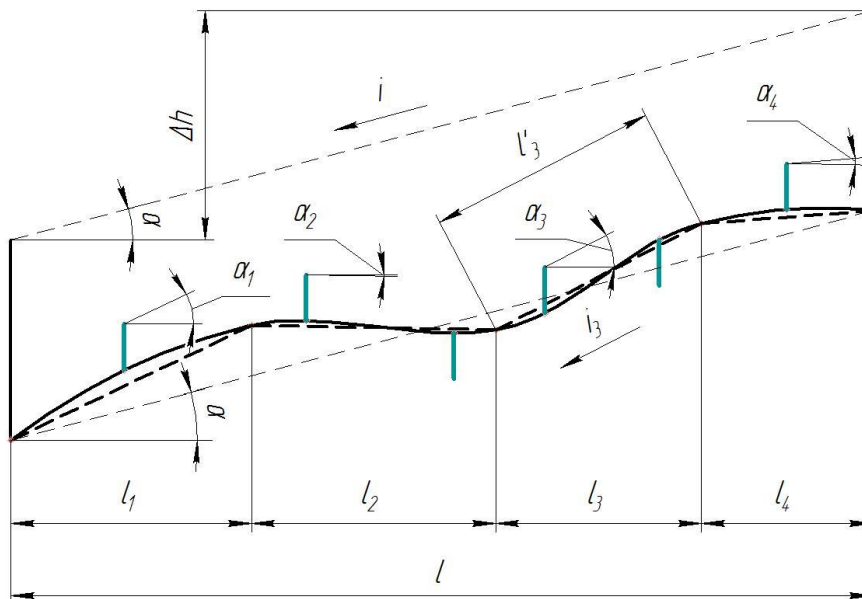


Рис. 1. Розрахункова схема для вимірювання ухилів поверхонь локальних ділянок місцевості та визначення ухилу ділянки місцевості значної протяжності.

Ухили поверхонь локальних ділянок місцевості визначають безпосередньо шляхом вимірювання, а значення ухилів ділянок значної протяжності визначають шляхом розрахунку, базуючись на результатах кількох вимірювань довжин та ухилів локальних ділянок місцевості (при цьому кути нахилу α (α_i) та ухили i (i_i) у напрямку на підйом вважають додатними, а у напрямку на спуск – від’ємними),

$$\begin{cases} \alpha = \arctg (i / 1000) = \arctg (\Delta h / l); \\ \Delta h = \sum_{i=1}^n (l_i \cdot \tg \alpha_i) = \sum_{i=1}^n (l_i \cdot i_i / 1000) = \sum_{i=1}^n (l_i' \cdot \sin \alpha_i), \end{cases} \quad (1)$$

де Δh - вертикальне перевищення точок початку і кінця ділянки місцевості, m ; l - відстань між початком і кінцем ділянки місцевості по горизонталі, m ; α - кут нахилу поверхні місцевості, $град$; i - ухил поверхні місцевості, $\%$; l_i - довжина локальної ділянки місцевості по горизонталі, m ; α_i - кут нахилу локальної ділянки місцевості, $град$; i_i - ухил локальної ділянки місцевості, $\%$; l_i' - довжина (протяжність) локальної ділянки місцевості, m .

Висотні відмітки конструкційних елементів лісових доріг в процесі їх проектування, будування та експлуатування, в основному, вимірюють з точністю $0,01 m$, а їх ухили – з точністю 1% . Тому, зважаючи на мінімально допустиме значення кроку проектування $K = 20 m$ [3, с. 40], інші параметри поздовжнього та поперечних профілів типових конструкцій лісових доріг, точність (1%) та діапазони вимірювань для лінійної та колових шкал вимірювальної поверхні розробленої конструкції інклінометра [1], визначаємо рекомендовану максимальну довжину локальних ділянок місцевості

$$l_i \leq 0,01 \cdot 1000 / 1 = 10 m. \quad (2)$$

З використанням запропонованої конструкції гравітаційного інклінометра маятникового типу можна також у польових умовах визначати радіус кривини ділянок траси лісової автомобільної дороги у вертикальній площині (рис. 2).

Вимірявши в двох довільних точках кривої (т. A і т. B) відповідно ухили i_1 та i_2 поверхонь локальних ділянок місцевості, віддаль між цими точками по кривій \widehat{K} , обчислюють шуканий радіус кривини R_g .

$$R_g = \frac{180 \cdot \widehat{K}}{\pi \cdot |\arctg i_1 - \arctg i_2|} = \frac{180 \cdot \widehat{K}}{\pi \cdot |\Delta \alpha|}, \quad (3)$$

де $\Delta \alpha$ - алгебраїчна різниця суміжних кутів нахилу поверхонь локальних ділянок місцевості, $град$; $\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2$.

Відповідно до вимог порядку приймання та методики контролювання якості дорожньо-будівельних робіт [4] в процесі будівництва та реконструкції лісових доріг виникає потреба у багаторазових вимірюваннях геометричних розмірів (наприклад, за допомогою мірної геодезичної стрічки) та ухилів (наприклад, за допомогою гравітаційного інклінометра) їх конструкційних елементів, зокрема під час вимірювання параметрів, які “характеризують якість дорожньо-будівельних робіт та підтверджують відповідність чинним нормативним вимогам”.

Досить зручним є використання розробленого приладу також під час діагностування, інженерних вишукувань і обстежень в процесі експлуатаційного утримання лісових доріг з метою формування дефектних актів та інших документів, необхідних для встановлення потреби у ремонті їх конструкційних елементів (зокрема, комплексно окремих ділянок будови, водопропускних і укріпних споруд тощо), призначенні виду ремонту, визначенні складу і обсягів робіт, а також під час безпосереднього виконання дорожньо-ремонтних робіт.

Із застосуванням вищезазначеного устаткування та інструменту в результаті виконання експериментальних досліджень виконано вимірювання ухилів конструкційних елементів лісової автомобільної дороги в Суходільському лісництві держаного підприємства “Бібрське лісове господарство” (рис. 3 – 10) та їх порівняння з даними технічної документації [5] й

нормативними даними, наведеними у табл. 1 з урахуванням допустимих відхилень.

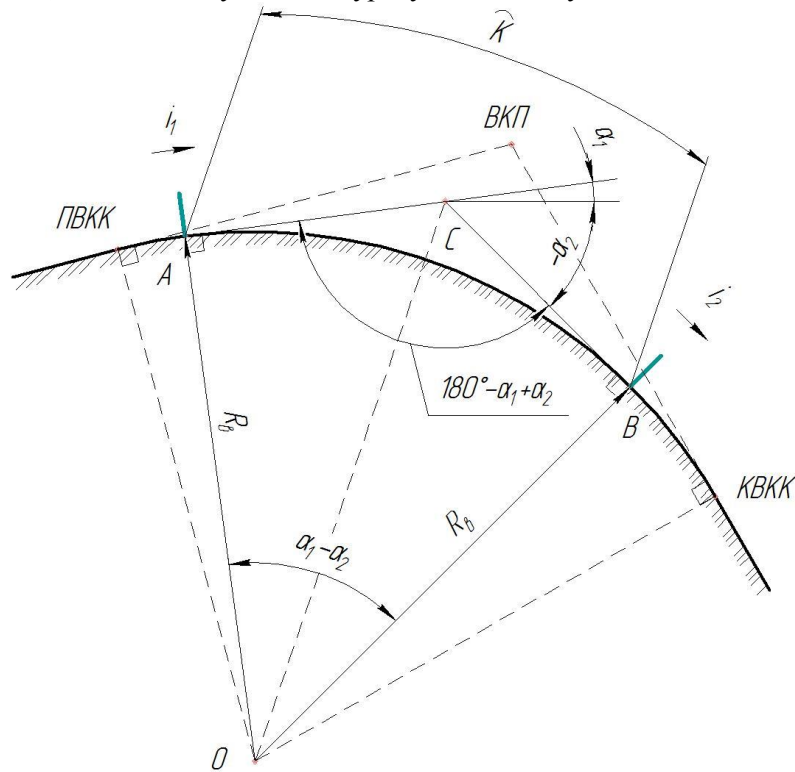


Рис. 2. Розрахункова схема для вимірювання ухилів кривих ділянок трас лісових автомобільних доріг: *ПВКК* і *КВКК* - відповідно початок і кінець вертикальної колової кривої; *ВКП* - вершина кута повороту; *O* - центр кривини (вертикальної кривої).

Величини допустимих відхилень вимірюваних параметрів (табл. 1) встановлено згідно з рядом рекомендацій [6] та з урахуванням науково обґрунтованих напрацювань в суміжних галузях [7].

На рис. 11. показано значення радіуса кривини траси лісової автомобільної дороги у вертикальній площині, які отримано шляхом розрахунку відповідно до формули (3) й даних вимірювань у польових умовах.

На рис. 3 – 11 використано ряд позначень і наведено значення величин таких технічних норм проектування і будівництва лісової дороги: проектне – значення параметра відповідно до технічної документації; факт – числове значення вимірюваної величини; ліве, праве – характеристика розташування місця вимірювання відносно осі дороги при русі у вантажному напрямку; в. м. доп., н. м. доп. – відповідно верхня та нижня межа допустимого відхилення; в. м. недоп., н. м. недоп. – відповідно верхня та нижня межа недопустимого відхилення; $i_{з.п.}$ - ухил поверхні земляного полотна у поперечному напрямку, ‰; m_n – коефіцієнт стрімкості укосу земляного полотна у поперечному напрямку; $i_{кан.}$ – ухил дна бокової водовідвідної каналу у поздовжньому напрямку, ‰; $i_{о.о.}$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку, ‰; $i_{узб.}$ – ухил поверхні узбіччя у поперечному напрямку, ‰; $i_{позд.}$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку, ‰; $i_{осн.}$ – ухил поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку, ‰; $i_в.$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку, ‰; $l_{тр.}$ – відстань від початку траси лісової дороги до місця вимірювання параметра, м.

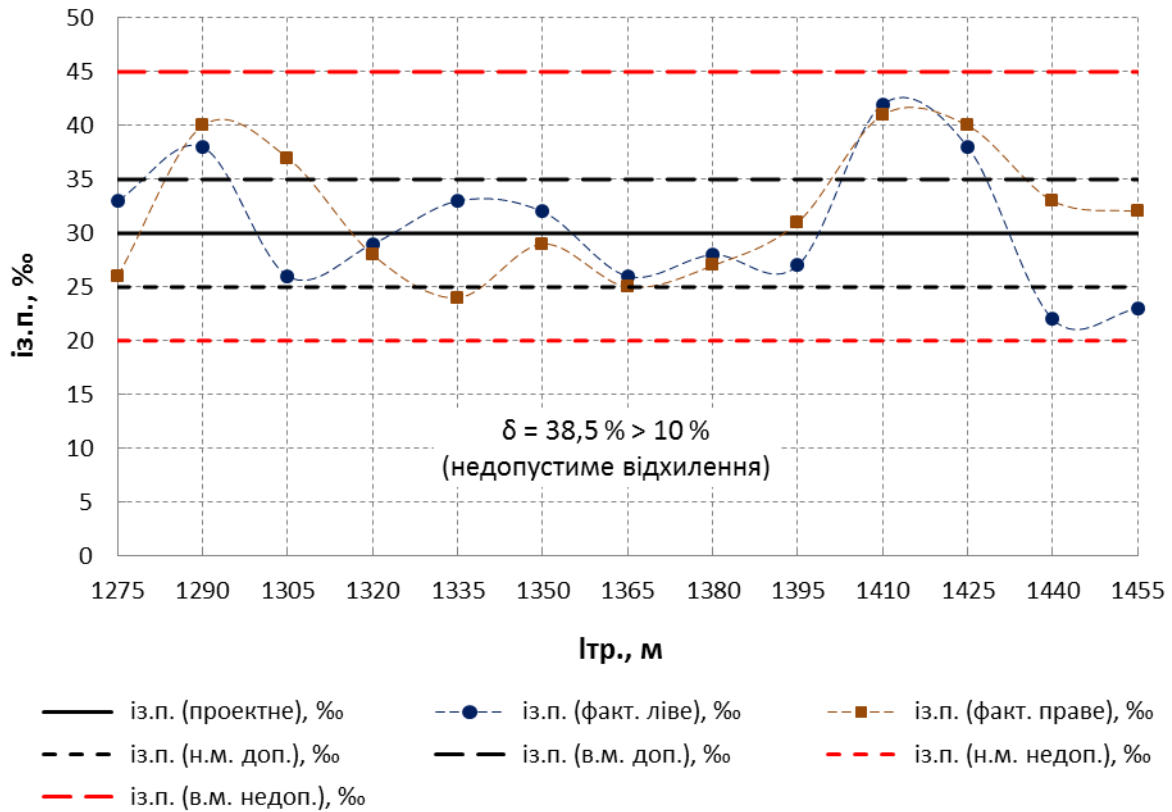


Рис. 3. Результати вимірювання ухилів поверхні земляного полотна у поперечному напрямку.

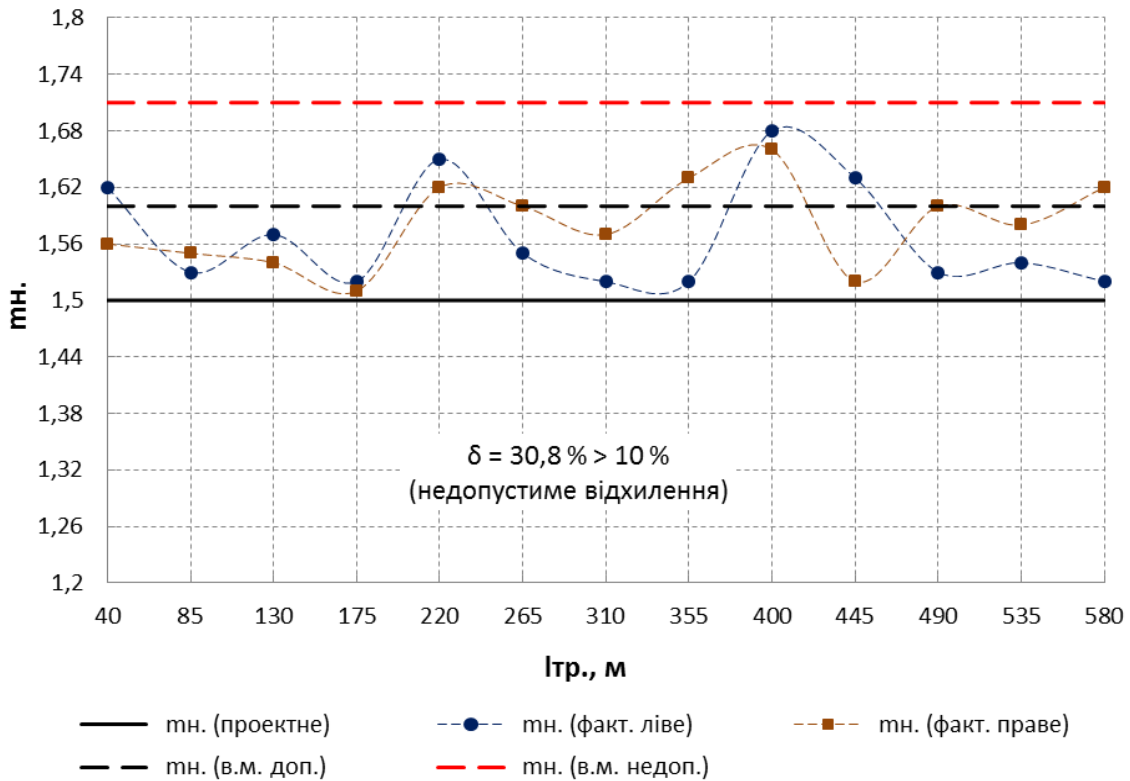


Рис. 4. Результати вимірювання стрімкості укосів земляного полотна у поперечному напрямку.

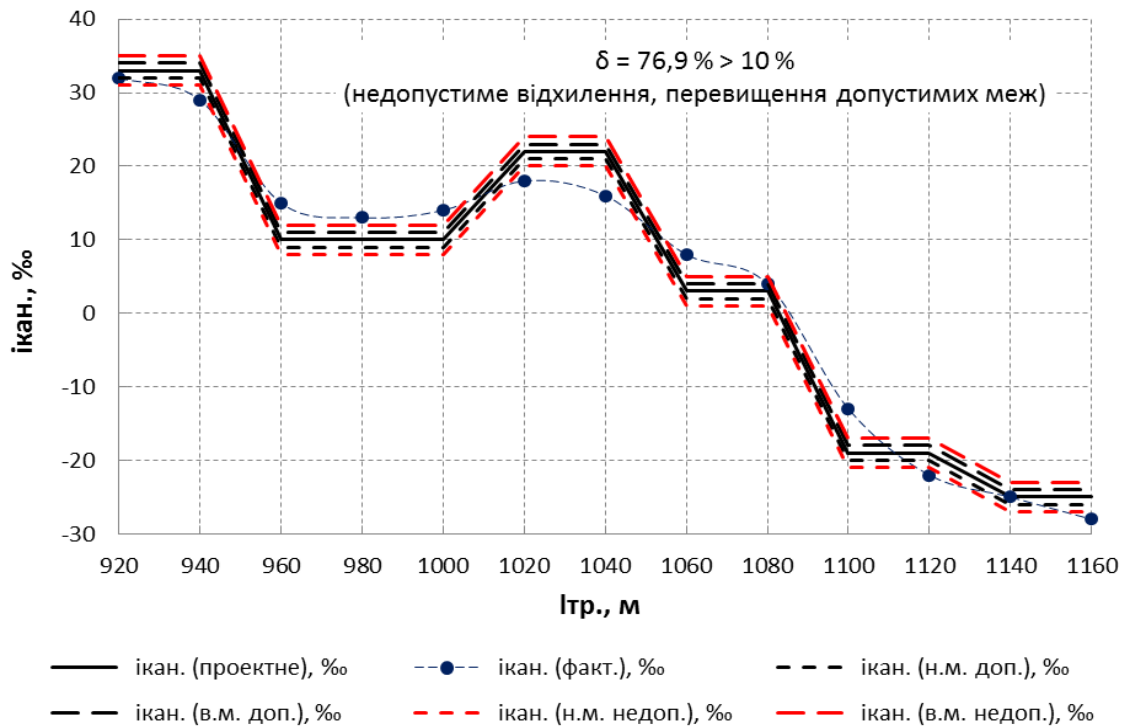


Рис. 5. Результати вимірювання ухилів дна бокових водовідвідних каналів у поздовжньому напрямку.

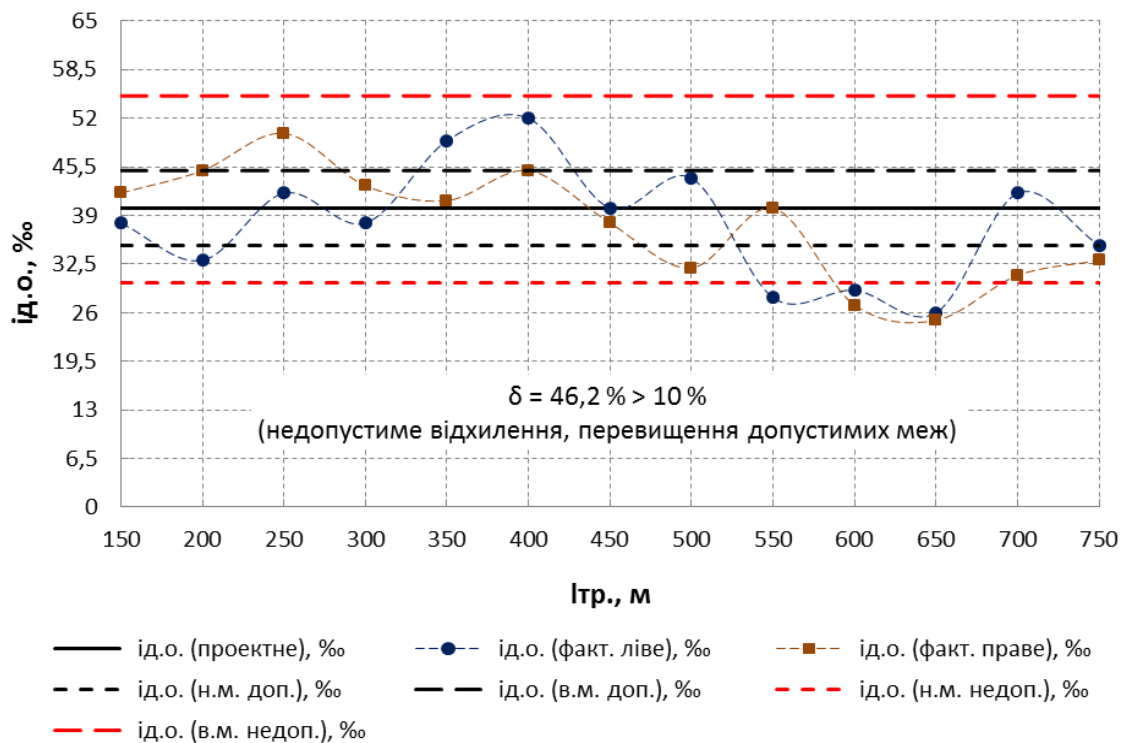


Рис. 6. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку.

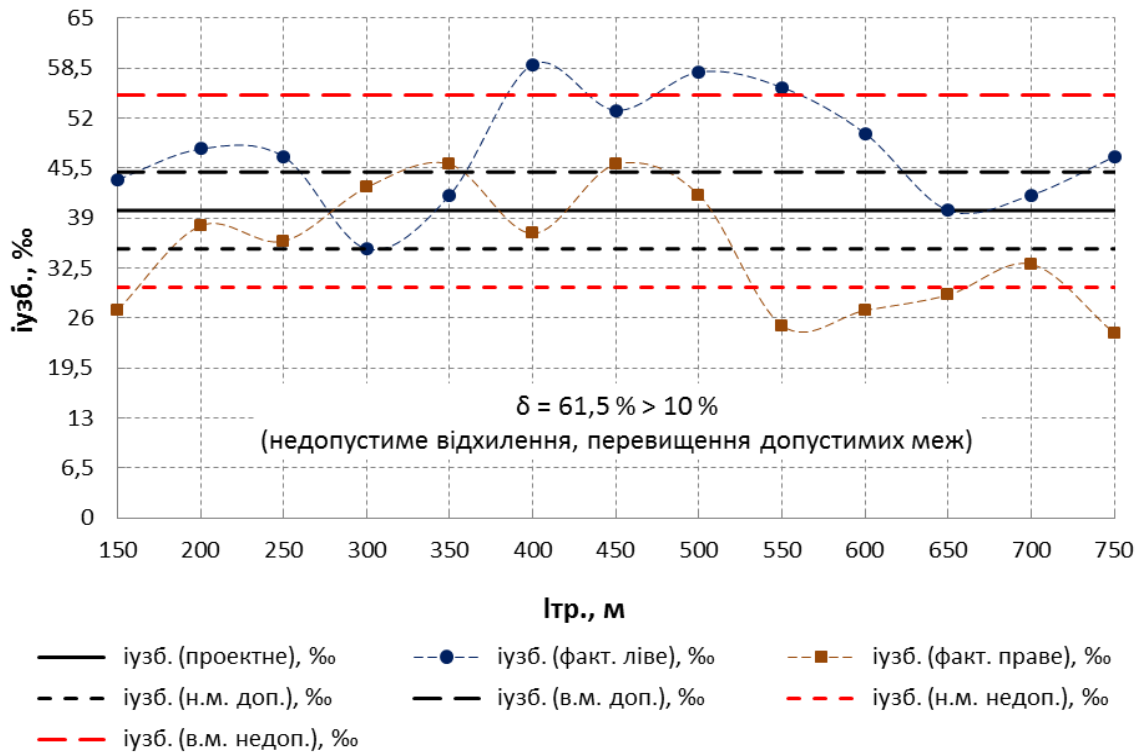


Рис. 7. Результати вимірювання ухилів поверхні узбіч у поперечному напрямку.

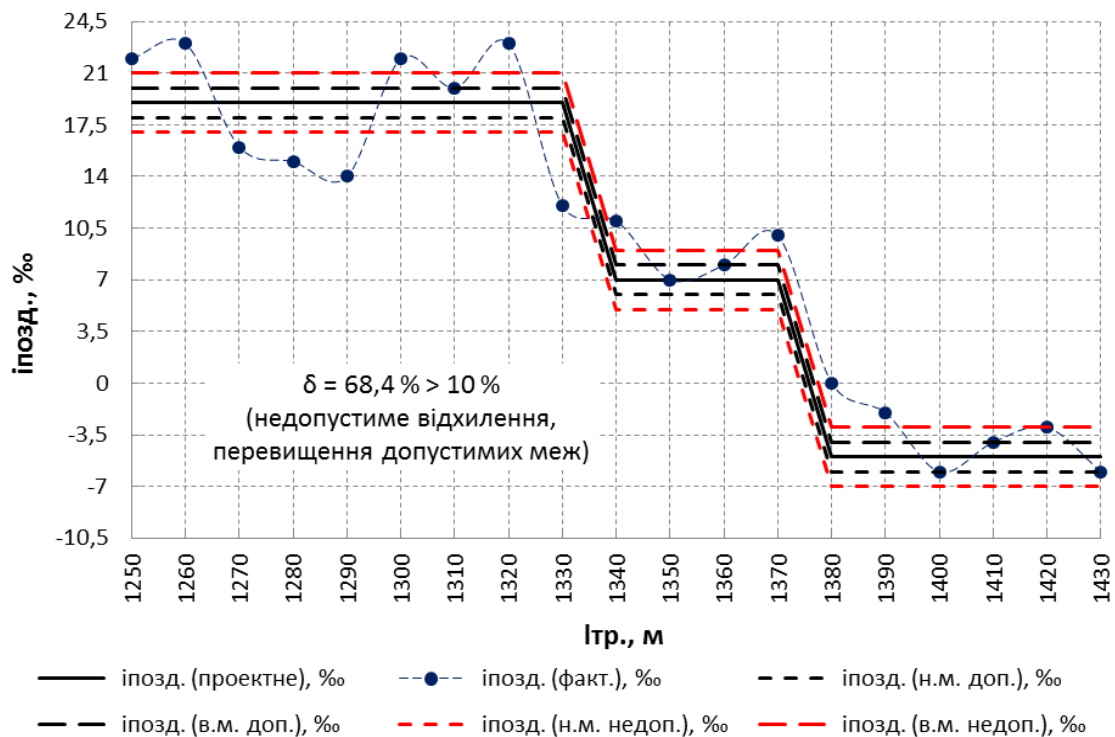


Рис. 8. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку.

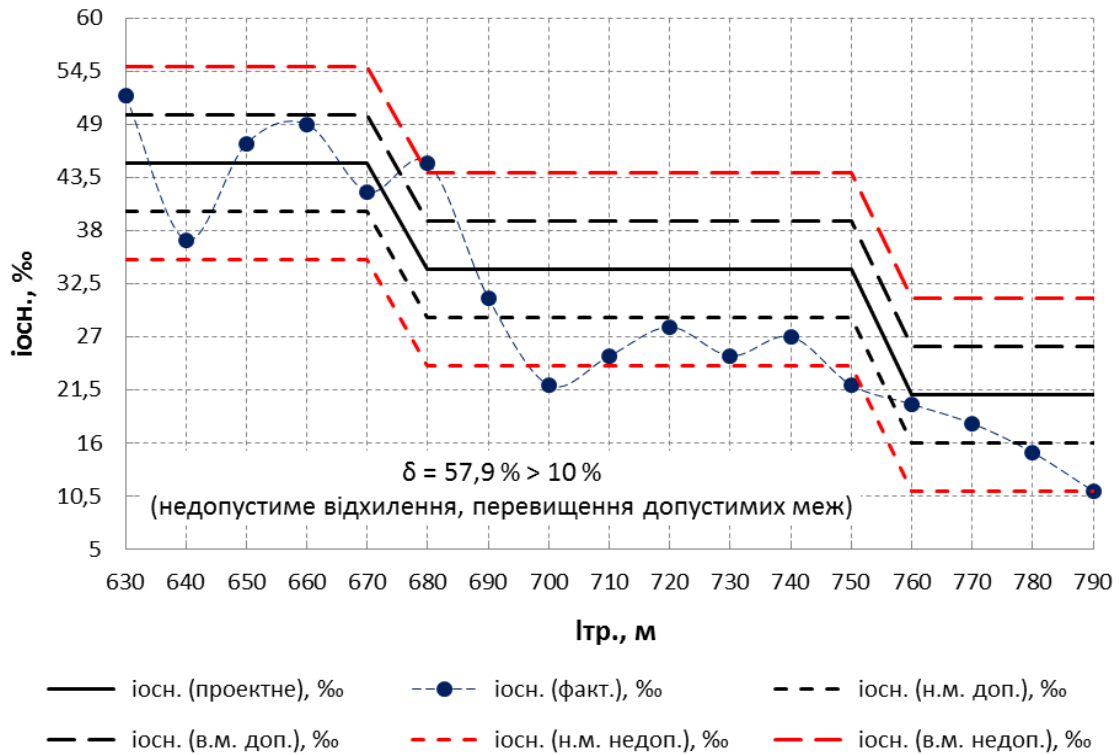


Рис. 9. Результати вимірювання ухилів поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку.

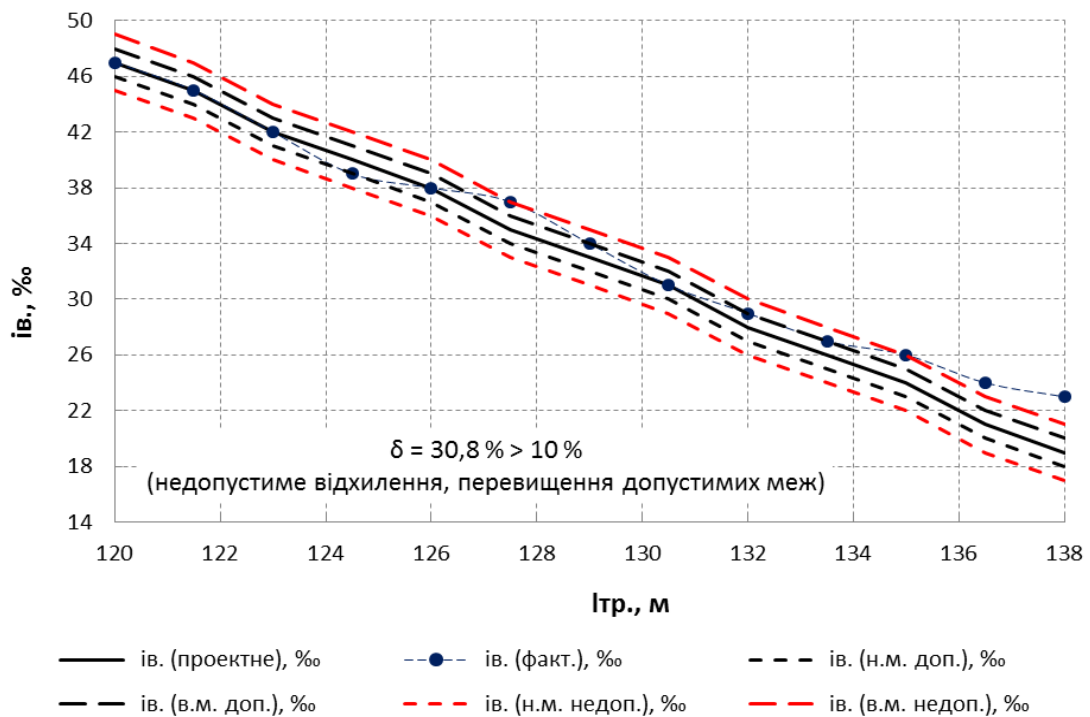


Рис. 10. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку.

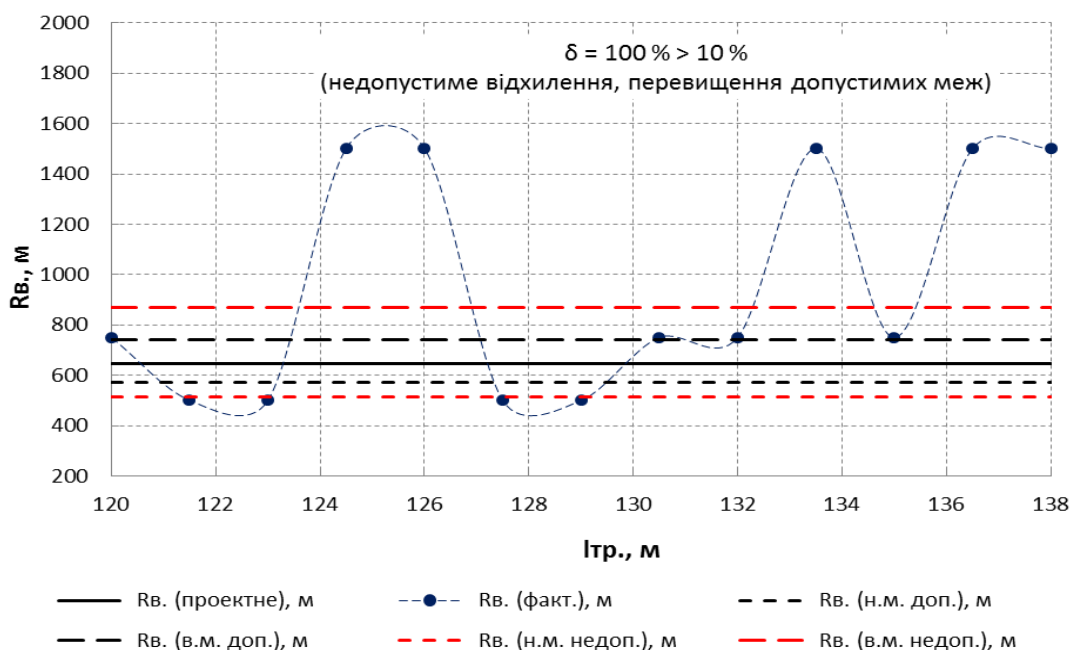


Рис. 11. Числові значення радіуса кривини траси лісової дороги у вертикальній площині, обчислені на основі результатів вимірювання ухилів її локальних ділянок.

Таблиця 1

Параметри контролю конструкційних елементів лісової дороги

Конструкційний елемент, вид робіт і параметр, який підлягає контролю	Кількість вимірів та місце вимірювання (нормативні вимоги)	Значення параметра	
		проектне	допустиме
1	2	3	4
Ухил поверхні земляного полотна у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 15 м (не менше двох вимірів на смузї руху через кожних 100 м)	30 ‰	до 10 ‰ результатів контрольних вимірів в межах 20 ... 45 ‰ (від - 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 25 ... 35 ‰ (від - 5 ‰ до + 5 ‰)
Стрімкість укосів земляного полотна у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 45 м (не менше двох вимірів з обох боків насипу або виїмки через кожних 100 м)	1,5	до 10 ‰ результатів контрольних вимірів в межах до 1,71 (зменшення стрімкості до 10 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах до 1,6 (зменшення стрімкості до 5 ‰)
Ухил dna бокової водовідвідної канами у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 20 м по осі канами (не менше одного виміру на 20 м споруди)	-25	до 10 ‰ результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень
		33 ‰	решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень

Ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 50 м (не менше одного виміру через кожних 100 м)	40 %	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 30 ... 55 ‰ (від - 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 35 ... 45 ‰ (від - 5 ‰ до + 5 ‰)
Ухил узбіччя у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 50 м (не менше двох вимірів на обох напрямках руху через кожних 100 м)	40 %	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 30 ... 55 ‰ (від - 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 35 ... 45 ‰ (від - 5 ‰ до + 5 ‰)
Ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 10 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 100 м)	-5 ... 19 %	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 2 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 1 см)
Ухил поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 10 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 100 м)	21 ... 45 %	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 10 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 10 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 5 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 5 см)
Ухил поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 1,5 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 10 м)	19 ... 47 %	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 2 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 1 см)
Радіус кривини ділянки траси у вертикальній площині	1 вимір через кожні 1,5 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 10 м)	645 м	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 512,79 ... 869,1 м (- 20 % ... + 35 %)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 571,34 ... 740,46 м (- 11 % ... + 15 %)

Висновки. Розроблено рекомендації щодо вимірювання ухилів конструкційних елементів лісових доріг та локальних ділянок місцевості із застосуванням попередньо розробленого та виготовленого гравітаційного інклінометра маятникового типу. При цьому зазначено особливості використання приладу для вимірювання ухилів прямих та локальних вертикальних кривих ділянок трас лісових автомобільних доріг, а також визначення ухилів ділянок місцевості значної протяжності.

Із застосуванням запропонованого приладу (інклінометра) проведено експериментальні

дослідження і наведено результати вимірювань ухилів конструкційних елементів лісової автомобільної дороги: поверхні земляного полотна (у поперечному та поздовжньому напрямках), укосів земляного полотна (у поперечному напрямку), водовідвідних каналів (у поздовжньому напрямку), поверхні покриття дорожнього одягу (у поперечному та поздовжньому напрямках), поверхні узбіч (у поперечному напрямку), а також ухилів локальних вертикальних кривих ділянок її траси.

Отримані результати вимірювань порівняно з даними технічної документації на будівництво лісової автомобільної дороги та допустимими нормативними відхиленнями. На цій основі зроблено висновки щодо допустимості чи недопустимості відхилень фактичних геометричних параметрів конструкційних елементів лісової дороги від проектних значень, а також щодо наявного перевищення встановлених нормативними вимогами допустимих меж.

Опрацьована процедура багаторазових технічних вимірювань ухилів конструкційних елементів лісових доріг може бути рекомендована для попереднього оцінювання стану об'єктів лісової інфраструктури, зокрема для лісових доріг постійної та тимчасової дії, а також виконання технологічних процесів підготовчих, допоміжних, основних та опоряджувальних робіт під час дорожнього будівництва, експлуатаційного утримання, ремонту та реконструкції. Таким чином, у виробничих умовах раціонально використовуватимуть сучасні електронні геодезичні прилади, високоточний інструмент і спеціалізоване програмне забезпечення.

Інформаційні джерела

1. Рудько І. М. Розроблення конструкції та обґрунтування параметрів інклінометра для вимірювання ухилів технічних елементів лісових доріг // Перспективні технології та прилади. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – Вип. 11 (2). – С. 93 – 100.

2. Пеньков В. О. Моделювання проявів локальної кривизни при техногенному впливі на дороги // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – Вип. 52. – К.: КНУБА, 2014. – С. 305 – 310.

3. Гайдар М. О. Проектування лісовозних автомобільних доріг. – Львів: Вища школа. Видавництво при Львівському державному університеті, 1982. – 231 с.

4. Порядок прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом (реконструкцією) лісових автомобільних доріг / УкрНДГірліс, Держкомлісгосп України // Затверджений Науково-технічною радою Держкомлісгоспу України, прот. № 2 від 23.08.2007 р. – К.; Івано-Франківськ, 2007. – 20 с.

5. Технічна документація будівництва лісової автомобільної дороги в Суходільському лісництві ДП "Бібрське лісове господарство" / ФОП Стиранівський О. А. – Том 1. Пояснювальна записка. Відомості і робочі креслення. – Львів, 2014. – 33 с.

6. Медвідь С., Ковтун Й., Сасюк В. Будівництво лісових автомобільних доріг: методичні вказівки з розроблення технологічних карт будівництва дорожніх одягів. – Львів: НЛТУ України, 2006. – 83 с.

7. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3-4:2015 / ДП "ДерждорНДІ", Укр. держ. ін-тут з проєктув. об'єктів дор. г-ва, ТОВ "Дорожні інноваційні технології", ТМ "Стандартпарк" // Затвержені Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 234 від 21.09.2015 р. – [Чинні від 2016-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 104 с. – (Державні будівельні норми України).

Рудько І.М., к.т.н., Барыляк В.В., к.т.н., Цымбалюк Ю.И., к.т.н.
Национальный лесотехнический университет Украины

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УКЛОНОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИТАЦИОННОГО ИНКЛИНОМЕТРА МАЯТНИКОВОГО ТИПА

Рассмотрены особенности процесса измерения уклонов технических элементов лесных дорог с применением разработанной конструкции гравитационного инклинометра маятникового типа. Обработано методика измерения уклонов поверхностей локальных участков местности и участков местности значительной протяженности.

Проведены в полевых условиях измерения уклонов технических элементов лесной дороги,

© Рудько І. М., к.т.н., Барыляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.

в частности земляного полотна, водоотводных канав, дорожной одежды (проезжей части и обочин). Экспериментальные исследования проведены на прямых и вертикальных кривых участках трассы лесной дороги.

На основе приобретенного опыта эксплуатации прибора разработаны рекомендации по его рациональному использованию при строительстве, реконструкции и ремонте лесных дорожных сетей.

Ключевые слова: инклинометр маятникового типа, измерения, уклон, лесная дорога, технический элемент.

I. Rudko, V. Barylyak, Yu. Tsybalyuk
Ukrainian National Forestry University

PECULIARITIES OF MEASURING THE SLOPES OF STRUCTURAL ELEMENTS OF FOREST ROADS WITH THE USE OF THE GRAVITATIONAL INCLINOMETER OF THE PENDULUM TYPE

Peculiarities of the process of measuring the slopes of technical elements of forest roads using the developed design of a pendulum-type gravitational inclinometer are considered. The method for measuring the slopes of the surfaces of local sites and areas of a considerable extent has been processed.

In the field, measurements were made of the slopes of the technical elements of the forest road, in particular the roadbed, drainage ditches, pavement (roadway and roadside). Experimental studies were carried out on the straight and vertical curves of the forest road route.

Based on the experience gained in operating the device, recommendations have been developed for its rational use in the construction, reconstruction and repair of forest road networks.

Keywords: inclinometer of pendulum type, measurements, slope, forest road, technical element.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2018

УДК 621.785

Borys Sereda, Gaydayenko Alexander, Irina Kruglyak, Dmytro Sereda

Dneprovsky State Technical University

PROTECTIVE COATINGS OBTAINED UNDER CONDITIONS OF SHS FOR WORK IN COKE PRODUCTION

In work discusses methods for the manufacture of protective materials in the thermal self-ignition mode of self-propagating high-temperature synthesis for use in coke-chemical production.

The results of studies of the structures and properties of corrosion-resistant coatings are shown. Analysis of the relevant parameters affecting the structure and operational properties of coatings is presented using various processing methods. According to the test results, it was found that titanium and silicon alloyed coatings have the best corrosion resistance indicators, increasing the service life by 1.5-1.7 times for parts operating under conditions of coke-chemical production.

Keywords: *corrosion-resistant coatings, self propagating high-temperature synthesis, construction material.*

Introduction. Coke chemical production is characterized by a very high aggressiveness of the enterprise atmosphere, thermal effects on the working bodies of machines and structures, the cavity dust abrasiveness, adhesion to the surface of the apparatus of condensate, resins, fuses, etc. For the production environment of the coke-chemical enterprise, the uneven distribution of aggressive substances in the working zone is characteristic. Sources of aggressive impact on the construction material can be divided into sources of energy and chemical influence. The composition and concentration of the components of the operating environment as a result of the physico-chemical processes of coke-chemical production corresponds to moderately and strongly aggressive impacts on building structures of buildings and structures. The maintenance of a constant level of reliability and durability of exploited structures is connected with the effective organization of a technical service, which carries out supervision of structures on its own or through the involvement of specialized organizations.

Surface saturation with aluminum, chromium, zinc and other elements refers to diffusion saturation with metals. The product, whose surface is enriched with these elements, gets valuable properties, which include high heat resistance, corrosion resistance, increased wear resistance and hardness

At present, the main methods of applying a protective coating are galvanic discharges in electrolysis, gas-thermal spraying, or metallization, thermal diffusion saturation in powder, immersion in molten metal, plastering. The adhesive and diffusive metal coatings are distinguished by the type of metal layer protective compound [1-4].

Depending on the method of transferring the diffusion element to the saturated surface, the following basic methods of diffusion metallization are distinguished: immersion into molten metal, if the diffusing element has a low melting point; saturation from molten salts containing diffusing element (with electrolysis and without electrolysis) saturation from the sublimated phase by evaporation of the diffusing element; saturation from the gas phase (contact and non-contact method), consisting of halogen compounds of the diffusing element[4-6].

Among the methods of surface hardening are widely used chromoaluated coatings obtained by various methods of chemical and thermal treatment.

In this connection, the development of new methods of chemical-thermal treatment is actual, it allows to regulate the composition and structure of protective coatings, provide the necessary performance characteristics with the minimum time of their formation. Such technologies are based on the phenomenon of self-propagating high-temperature synthesis [7-10].

Self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is a chemical process that occurs with heat release in autowave mode, a type of combustion leading to the formation of solid products. Thermal decomposition of complex reagents, oxidation-reduction reaction, synthesis of simple substances etc may take place as chemical stages SHS. Mixtures for SHS consist of fuel (often metals or volatile compounds), oxidizer, as well as fillers and functional additives; which are introduced to regulate the composition and structure of the base products. Typical reagents - refractory metals (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, etc.) and nonmetals (B, C, Si), gases (N₂, O₂, H₂), oxides, metal halides and metal-reducing

agents (such as Al and Mg), metal hydrides, organic and organometallic compounds, mineral raw materials and industrial solid waste [11-12].

Oxygen-free refractory compounds (borides, carbides, nitrides, silicides), intermetallics (aluminides, etc.), chalcogenides, complex oxides (titanates, niobates, tantalates, ferrites, etc.), hydrides, phosphides, and various nonstoichiometric phases, single phase solid solutions of binary compounds (eg, carbonitrides), and others are obtained by SHS method. Organic compounds can be produced also in the SHS mode

By studying the SHS a number of new phenomena were found - (not unique) a number of modes of propagation reaction and hysteretic transition between them, spontaneous homogenization of heterogeneous media associated with the capillary spreading of low-melting component in preflame zone, spin waves as developing of the thermal instability of self-wave processes, the anisotropic effect, which enables the production of polycrystalline products with anisotropy properties, and others. Such new directions in theory and practice of combustion, as gasless combustion (burning of powder mixtures without separation of gaseous products) and filtering burning have been developed. Important advantages of SHS is usage of chemical energy and the absence of external heat sources [13-14].

Inorganic materials (such as powders of refractory compounds, abrasive pastes, nitrated ferroalloys, cermets, ceramics), parts and products of specified sizes and shapes, including those from tungsten carbide (cutting inserts, rolls, dies, etc.), refractories, coatings have been produced with the help of SHS and permanent connection details have also been made.

Materials and methods of research. The purpose of the work was to increase the corrosion resistance of brass Lc40Mc3J in the conditions of SHS. Chemical-thermal treatment was carried out in an open-type reactor ($P = 10^5$ Pa) in the operating temperature range of 900-1100 ° C. The duration of isothermal exposure varied from 30 to 60 minutes.

Surface preparation of the samples consisted of successive grinding, polishing and degreasing in acetone. Initiation of the process of thermal autoignition was carried out by preheating the resistance in the furnace to the temperature of the beginning of the exothermic reaction (t^*).

The tests for corrosion resistance are carried out on cylindrical samples with a diameter of 10 mm and a height of 20 mm. The samples of brass Lc40Mz3J are investigated in 30% - aqueous solutions of hydrochloric, sulfuric and nitric acids at a temperature of 20 ° C. Before and after the test, the samples were washed with acetone, dried and solved on analytical scales for 7 days every 24 hours with accuracy up to 1 mg and the mass loss per unit surface of the sample under the influence of corrosion is calculated [15].

The results of the research and their discussion. Manganese-iron brass LC40Mc3J - brass, designed for casting simple configuration of critical parts and armature of marine shipbuilding, operating at temperatures up to 300 ° C. Manganese-iron brass LC40Mc3J contains, %: Cu 53-58; Fe 0.5-1.5; Mn 3-4; Zn the rest. Mechanical properties for casting, respectively, under pressure and sand, at least: $\sigma_B = 392.441$ MPa; $\delta = 10.18\%$; HB 90, 100

Brasses intensively corrode under the influence of mineral acids (nitric, hydrochloric). Sulfuric acid acts on brass much slower, but in the presence of oxidants $\{K_2Cr_2O_7, Fe_2(SO_4)_3\}$, the corrosion rate increases by two orders of magnitude. Bars are sufficiently stable in solutions of alkalis (with the exception of ammonia) and in concentrated solutions of neutral salts.

Hydrogen sulfide provides strong corrosive action on brass. At the same time, brass with high zinc content (more than 30%) is more stable in the hydrogen sulfide medium than brass with low zinc content. For corrosion resistance research, corrosive materials are used that imitate the intended applications:

- pumps for acid transfer in the production of titanium;
- bearing units on objects of special equipment in rocket space and defense industries;
- for the manufacture of simple configuration of parts for responsible purposes and armature of marine shipbuilding, operating at temperatures up to 300 ° C of massive parts, propellers and their blades.

To enhance the corrosion resistance of brass, Lc40Mz3J requires a protective coating containing elements that form passive films. In this case, upon reaching the potential of ionic passivation, oxide films of the composition: $Cr_2O_3, Al_2O_3, TiO_2, SiO_2$ which protect the metal from destruction, are formed.

When tested in a 30% hydrochloric acid aqueous solution, covering doped with silicon and titanium have the best resistance. The metallographic analysis shows that the protective coatings in all samples were uniformly corroded to a small depth, therefore, it is advisable to use covering doped

with silicon to work in a 30% hydrochloric acid solution, which, besides good corrosion resistance, also has a high wear resistance.

The results obtained can be explained by the formation of surfaces on the doped phases leading to surface passivation in aggressive media. It is also possible to suppose the effect of electrochemical braking of anodic dissolution of metals at a higher concentration of alloying elements compared to coatings obtained under isothermal conditions.

Table 1
Corrosion resistance of bricks LC40Mc3J with doped coatings when tested in acids.

Corrosive environment	Kind of cover	Mass loss (г/м ²)						
		Test time, day						
		1	2	3	4	5	6	7
30% HNO ₃	No cover	86	101	198	286	432	543	620
	Cr-Al-B	7	14	21	25	30	35	37
	Cr-Al-Si	5	12	18	23	26	31	35
	Cr-Al-Ti	4	9	14	20	23	28	32
30% HCl	No cover	92	103	118	130	142	164	180
	Cr-Al-B	3,8	5,2	7,6	12,0	15,1	19,6	24,1
	Cr-Al-Si	1,6	2,8	4,6	7,9	10,3	11,6	13,8
	Cr-Al-Ti	4,2	5,9	8,2	10,1	12,3	14,6	16,7
30% H ₂ SO ₄	No cover	46	58	73	95	122	154	192
	Cr-Al-B	2,1	3,8	5,3	7,5	8,5	10,2	11,7
	Cr-Al-Si	1,8	2,9	4,1	5,7	7,5	9,2	10,8
	Cr-Al-Ti	1,3	2,3	4,1	5,9	8,3	10,1	12,4

Conclusions. Comparative analysis of corrosion resistance of protective coatings obtained in isothermal conditions, shows that they have a weight loss of 1,7-2,1 times more.

It is known that the mechanical stresses (in this case, the compressive residual stresses) affect the corrosion behavior of metals, due to the extraction of the structural material by the fact that the level of residual stresses in coatings obtained under the conditions of thermal self-ignition of the SHS charge is higher. As a result, the probability of micro-bursting of passive oxide films is reduced, resulting in an increase in corrosion resistance.

References

1. Lakhtin Yu.M. Metallurgy and heat treatment of metals. / Yu.M. Lakhtin // - M.: Metallurgy, 1993. - 448 p.
2. Merzhanov A.G. Solid flames: discovery, concepts and horizons of cognition. Combust. Sci. and Technol., 1994, v. 98, № 4-6, p. 307-336.
3. Merzhanov A.G., Rogachev A.S. Phase and structure transformations during SHS. Adv. Sci. Techn. 2003, v.31, pp. 271-282
4. Khusid B.M. Mansurov V.A., Ubortsev A.D., Shulman Z.P.. Phase and chemical transformations in the self-propagating wave of an exothermal reaction in a mixture of organic powders. J. Chem., Soc., Faraday Trans., 1993, v. 89, № 4, p. 727-732
5. Chemical-thermal treatment of metals and alloys. Directory. / Borisenok G.V., Vasiliev L.A., Voroshnin L.G. and others. - Moscow: Metallurgy, 1981.- 424 p.
6. Sereda B. Simulation and modeling of metallurgical phenomena produced on pressing in SHS-condition/ Sereda B., Sereda D., Kovalenko A., Kryglyak I. // Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.727-732
7. Sereda B. Production of highly effective SHS coatings operating in oxidizing and corrosive environments / Sereda B., Sereda D., Kryglyak I. // Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.424-429
8. Establishment of the relationship between the microstructure characteristics and the heat resistance of silicate coatings obtained under SHS conditions/ Sereda B., Sereda D., Sereda I.// Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.412-416

9. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. - P.825-829.

10. Sereda B. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. - P.931-934.

11. Sereda B. Modeling deformation in material processing and laws of phasic by SHS pressing intermetallics alloys / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus. Ohio, USA 2015. - P.611-617.

12. Sereda B. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition./ Sereda D., Sereda B. //Material science and technology. Pittsburgh. Pennsylvania, USA 2014. - P.482-486.

13. Sereda B. Modeling deformation in material processing and laws of phasic by SHS pressing intermetallics alloys / Sereda D., Sereda B. //Material science and technology 2015. Conference and Exhibition. Columbus. Ohio, USA. 1827p. P.611-617 -SCOPUS

14. Sereda B., Sereda D. Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. Material science and technology. Columbus, Ohio, USA. 2011.-P.1667-1671.

15. Zhuk N.P. Course of the theory of corrosion and protection of metals / N.P. Zhuk // - М .: Metallurgy, 1976. - 472 p.

Серда Б.П., Гайдаенко А.С., Кругляк И.В., Серда Д.Б.
Днепропетровский государственный технический университет

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ СВС ДЛЯ РАБОТЫ В КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВЕ

В работе обсуждаются методы изготовления защитных материалов в режиме теплового самовоспламенения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для использования в коксохимическом производстве.

Показаны результаты исследований структур и свойств коррозионно-стойких покрытий. Анализ соответствующих параметров, влияющих на структуру и эксплуатационные свойства покрытий, представлен с использованием различных методов обработки. По результатам испытаний было обнаружено, что покрытия легированные титаном и кремнием, имеют лучшие показатели коррозионной стойкости, увеличивая срок службы в 1,5-1,7 раза для деталей, работающих в условиях коксохимического производства.

Ключевые слова: *коррозионно-стойкие покрытия, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, конструкционный материал.*

Серда Б.П., Гайдаенко А.С., Кругляк И.В., Серда Д.Б.
Дніпровський державний технічний університет

ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ОТРИМАНИХ В УМОВАХ СВС ДЛЯ РОБОТИ В КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВІ

У роботі обговорюються методи виготовлення захисних матеріалів в режимі теплового самозаймання саморозповсюджувального високотемпературного синтезу для використання в коксохімічному виробництві.

Показані результати досліджень структур і властивостей корозійностійких покриттів. Аналіз відповідних параметрів, що впливають на структуру та експлуатаційні властивості покриттів, представлений з використанням різних методів обробки. За результатами випробувань було виявлено, що покриття леговані титаном і кремнієм, мають кращі показники корозійної стійкості, збільшуючи термін служби в 1,5-1,7 рази для деталей, що працюють в умовах коксохімічного виробництва.

Ключові слова: *корозійно-стійкі покриття, саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, конструкційний матеріал.*

Стаття надійшла до редакції 13.11.2018

УДК 656.135.8

Середа Б. П., Муковська Д. Я.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ САМОСКИДІВ БЕЛАЗ В УМОВАХ КАР'ЕРУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Розглянуті можливості ефективної роботи самоскидів БелАЗ в умовах кар'єру металургійного підприємства. Проведено дослідження заходів ефективності роботи самоскидів при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки. Розглянута робота сучасного кар'єру металургійного підприємства. Розглянуті основні проблеми в організації роботи кар'єрних автомобілів самоскидів БелАЗ. Проведений аналіз існуючих методів ефективності роботи кар'єрних самоскидів БелАЗ. Представлений пошук ефективних рішень спрямованих на збільшення продуктивності автомобілями самоскидами БелАЗ. Отримані результати можуть бути використані для вирішення комплексу задач, пов'язаних з ефективною роботою кар'єрних самоскидів. Запропоновані заходи дозволять збільшити ефективність роботи самоскидів БелАЗ в умовах кар'єру металургійного підприємства тим самим знизити собівартість перевезень.

Ключові слова: кар'єрні автомобілі, металургійний шлак, паливо, собівартість перевезень, продуктивність роботи, кар'єр металургійного підприємства.

Вступ. Промисловий транспорт, зокрема, кар'єрний транспорт підприємства – важлива складова транспортної системи України. Кар'єрний промисловий транспорт працює на відкритих розробках, та є домінуючим. Кар'єрні самоскиди є одним із основним засобом перевезення металургійних шлаків та продуктів їх переробки. Він представлений, в основному, великовантажними самоскидами та забезпечує ефективність, безперервність і надійність виробництва. У першу чергу це зумовлюється його високими технічними і експлуатаційними показниками в складних умовах експлуатації. В сучасних кар'єрах металургійних підприємств автосамоскиди мають переміщувати великі обсяги металургійних шлаків та продуктів їх переробки.

Кар'єрні самоскиди мають потужні техніко-експлуатаційні властивості, які викликані складними умовами експлуатації. Кар'єрні самоскиди відрізняються високою міцністю, значною вантажопідйомністю й великою ємністю кузова. Основні конструктивно-технічні особливості кар'єрних самоскидів: висока маневреність внаслідок малих (10...15 м) радіусів розвороту, автономності живлення, невеликих габаритів; порівняно круті ухили автодоріг, що досягають у вантажному напрямку 90...10 %, порожняковому 120...140 %; висока прохідність кар'єрних самоскидів, забезпечувана їхніми високими динамічними якостями й пристосованістю до

до нерівностей дороги. [1] Завдяки гарним експлуатаційним якостям кар'єрні самоскиди набули широкого застосування на металургійних підприємствах.

Постановка проблеми. Металургійна промисловість в економіці країни займає важливе місце, будучи базовою галуззю, характеризується значними обсягами виробництва та витратами на виробництво готової продукції. Найпоширенішим видом транспорту для перевезення металургійного шлаку - є кар'єрні самоскиди БелАЗ, які визначають вкрай напружені режими роботи з великими витратами ресурсу. Взагалі експлуатація кар'єрного автотранспорту призводить до значних витрат підприємства на перевезення вантажів. Погіршення організаційно-технічних умов, недосконалість існуючих методів організації роботи самоскидів у кар'єрі приводить до систематичного відставання обсягів видобутку і погіршенню продуктивності роботи кар'єрного автотранспорту, подорожчанню кінцевої продукції. Також значно скорочується робочий ресурс, збільшуються обсяги ремонтних робіт, підвищуються витрати на експлуатацію. Все це негативно позначається на ефективності роботи кар'єрного автотранспорту і всього підприємства в цілому. Ефективність використання кар'єрного автотранспорту визначається його продуктивністю. На відміну від інших видів транспорту, промисловий транспорт залежить від технології основного виробництва. Технологічні перевезення самоскидами металургійних шлаків визначають вкрай напружені умови роботи та великі витрати ресурсів, які складають значну частку у собівартості автомобільних перевезень. Крім того, від ефективності та якості роботи транспорту залежить надійність роботи

транспортної системи металургійного підприємства в цілому. Разом з тим постає проблема збільшення продуктивності самоскидів при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки в умовах кар'єру металургійного підприємства. Раціональна і доцільна експлуатація кар'єрних самоскидів в маршрутах перевезення металургійних шлаків та продуктів їх переробки - є важливим напрямком науково-технічного прогресу на транспорті. Сучасні металургійні підприємства є складними господарськими комплексами з високим рівнем розвитку. Діючі заходи збільшення продуктивності і ефективності при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки є маловивченою і, безсумнівно, не можуть адекватно відтворити сьогоденні умови функціонування самоскидів в умовах кар'єру металургійного підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день теоретичні і науково-практичні методи і заходи з дослідження ефективності кар'єрних самоскидів розглядають в багатьох наукових працях вітчизняних та зарубіжних науковців. Дослідження шляхів підвищення ефективності роботи автосамоскидів при обслуговуванні кар'єру є важливим заходом роботи кожного підприємства.

У статті [2] обґрунтований метод оцінювання конкурентоспроможності кар'єрних автосамоскидів виходячи з технологічної собівартості 1 т км транспортування гірських порід, яка вимірюється сукупними витратами на експлуатацію самоскидів, а також на введення в технологію гірничих робіт певної моделі самоскиду. Розроблений науковий підхід до прогнозування ймовірних змін показників конкурентоспроможності автомобілів на різній глибині кар'єру на основі корегувальних коефіцієнтів, що враховують адаптацію самоскиду певної моделі до умов його експлуатації на тій чи іншій глибині кар'єру. Метою даної статті є розвиток науково-методичних засад і розробка практичних рекомендацій щодо визначення показників оцінювання конкурентоспроможності кар'єрного автосамоскиду, які прямим чином обумовлюють рівень його економічної ефективності експлуатації за критеріями, що сприяють зниженню транспортних витрат, і загалом, собівартості видобування корисної копалини в заданих умовах транспортування гірських порід у кар'єрі. Наведена економічна оцінка ефективності експлуатації автосамоскидів на різній глибині кар'єру є важливим чинником їх конкурентоспроможності.

У статті [3] проаналізовані технологічні перевезення великовантажними автосамоскидами. Встановлена невідповідність базових показників, визначаючих технічний зміст машин, видам, характеру та умовам перевезень. Розроблені технічні показники та економічні критерії, забезпечують вдосконалення системи управління технічним змістом цих машин. Запропоновані принципи створюють основу для вдосконалення системи управління технічним змістом великовантажних самоскидів.

У статті [4] розглядається дослідження залежності продуктивності самоскидів від техніко-експлуатаційних показників роботи та впровадження систем моніторингу та контролю ваги вантажу, як одного зі шляхів підвищення продуктивності в гірничодобувній галузі. Основними показниками, що характеризують ступінь використання самоскидів автори визначили вантажопідйомність, коефіцієнти використання пробігу, коефіцієнти використання вантажопідйомності, час простою, технічну швидкість руху. Дана стаття досліджує факторні параметри транспортного процесу кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ та розробку шляхів підвищення продуктивності самоскидів при конкретних умовах експлуатації. Автори стверджують, що однією з головних причин зносу деталей є перевантаження автосамоскидів. У перевантаженого автомобіля збільшується гальмівний шлях і збільшується нахил кузовної частини в сторони. Збільшується знос дорожнього покриття. Внаслідок чого виникає питання про рішення даної проблеми. Одним із шляхів її усунення є впровадження системи моніторингу і контролю маси вантажу. Автори зробили висновок, що система моніторингу і контролю ваги вантажу забезпечує рівномірне і точне завантаження самоскидів без навантажень і перевантажень, істотно підвищуючи середньо експлуатаційну продуктивність самоскидів і забезпечуючи більш тривалий термін служби, знижуючи тим самим собівартість перевезень.

У статті [5] автори стверджують, що кар'єрні самоскиди, завдяки своїм перевагам, транспортують близько 80% загального видобутку гірничої маси на відкритих роботах підприємств гірничодобувних галузей у всьому світі. На території України переважна більшість машин представлена маркою БЕЛАЗ вантажопідйомністю 30-55 т, оснащених гідромеханічною трансмісією. Основною проблемою використання даної техніки є не одноманітність умов експлуатації, що спричинює зменшення продуктивності роботи та збільшення експлуатаційних

витрат. Це у свою чергу, спричинює збільшення вартості транспортування, яка на сьогодні досягає 50-60% від загальної вартості робіт у кар'єрі. При цьому питома вага палива у витратах на перевезення у деяких випадках перевищує 30%. у зв'язку з тим, що покращення основних факторів умов експлуатації практично не можливо, авторами було прийнято рішення провести наукові дослідження, впровадження яких дозволило б підвищувати ефективність роботи кар'єрних автосамоскидів (збільшення паливної економічності та тягово-швидкісних властивостей) за рахунок узгодження параметрів та характеристик складових елементів системи «двигун-трансмсія» відносно специфіки умов експлуатації. Розроблена методика визначення раціональних параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрних самоскидів. Вона базується на функціональному взаємозв'язку розроблених та обґрунтованих показників складності маршруту руху, ефективності роботи та узгодженості параметрів «двигун-трансмсія».

У статті [6] наводяться наступні засоби зниження витрати палива самоскидів в гірничодобувній галузі за рахунок: удосконалення конструкції самоскидів, та їх окремих вузлів та агрегатів; удосконалення системи обліку, зберігання, видачі та контролю витрати палива; будівництва внутрішньокар'єрних стоянок технологічного автотранспорту і технічного обладнання; удосконалення конструкцій і покриття автодоріг; удосконалення систем технічного обслуговування і ремонту самоскидів; удосконалення системи нормування і стимулювання за економічне витрату палива. На думку автора розроблена методика дозволить – збільшити моторесурс і надійність силової кар'єрного самоскида; зменшити витрату палива самоскидів на 15-18 %; збільшити повздовжній ухил автодороги на 10-12%; збільшити продуктивність самоскидів на 15-20%.

У статті [7] автор досліджує показники роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності у умовах родовища мігматитів. На думку автора одним із важливих факторів підвищення ефективності використання самоскидів вважається стан кар'єрних доріг. Стан кар'єрних доріг безпосередньо впливає на їх продуктивність. Підтримання дорожнього полотна у належному стані дозволяє самоскидам рухатися з більшою швидкістю та за відповідний час перевозити більшу кількість вантажу. Автор стверджує, що у сучасних ринкових умовах діяльність будь-якого підприємства націлена приносити прибуток, який визначається співвідношенням доходів, одержуваних при виконанні заданих об'ємів перевезень гірської маси. Підвищення продуктивності транспортного процесу дозволяє насамперед скоротити витрати підприємства і як наслідок, збільшити його прибуток. На основі графічних та аналітичних залежностей отримані показники, які дозволяють визначити шляхи підвищення продуктивності автосамоскидів умовах Стрижавського родовища мігматитів. При підвищенні якості кар'єрних доріг – швидкість автосамоскидів зростає на 2 км/год., а відповідно зростає і їх продуктивність до 150-180 т/добу. На основі отриманих даних продуктивність автосамоскидів зі збільшенням відстані транспортування на 100 м знижується приблизно на 20-30 т/добу (на один автосамоскид). Підвищення продуктивності автосамоскидів за рахунок маневрування, обраної схеми подачі автосамоскиду під завантаження забезпечується при використанні тупікової та кільцевої схем при подачі автосамоскиду під завантаження. Біля приймального бункера дробарки застосовується тупікова схема. Їх використання дозволяє збільшити продуктивність всіх автосамоскидів на 2 т за добу.

У статті [8] Проаналізовано особливості перевезення гірничої маси автомобільним кар'єрним транспортом. Визначено техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу на маршруті, що впливають на транспортний процес. Встановлено, що технологічний процес перевезення добутої гірничої маси має високий рівень механізації, що, в свою чергу, вимагає організацію та планування перевезень з метою ефективного її використання. Створені передумови побудови графіків перевезення плануванням маятникових маршрутів у ситуації, коли пропускна здатність пункту навантаження істотно обмежена. Розраховано необхідну кількість самоскидів для ефективного використання технологічного процесу перевезення гірничої маси з мінімізацією часу простою автомобілів і навантажувально-розвантажувальних механізмів. На техніко-економічне становище підприємств гірничої промисловості впливають багато факторів, які в першу чергу пов'язані з процесами добування гірничої маси. Технологічний процес перевезення являє собою складний комплекс операцій по навантаженню, транспортуванню та вивантаженню вантажу, який потребує значних матеріальних і трудових затрат. Його удосконалення приводить до економічно вигідної роботи транспортного цеху та

підприємства в цілому. Наведена методика дозволяє мінімізувати час простою автомобілів і навантажувально-розвантажувальних робіт і фінансових втрат підприємств.

Із даного дослідження та інших наукових праць стає зрозуміло, що розроблені методики та заходи збільшення продуктивності і зниження витрати палива кар'єрних самоскидів в більшості випадків стосуються гірничодобувних галузей. І тому, доцільно вважати, що заходи що до збільшення продуктивності і зниження витрати палива при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки потребує подальших досліджень.

Постановка задачі. Запропонувати захід який дасть можливість збільшити ефективність роботи самоскидів при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки в умовах металургійного підприємства.

Мета дослідження. Керуючись умовами експлуатації самоскидів при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки в умовах кар'єру металургійного підприємства, розробити захід який призведе до збільшення їх ефективності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективне функціонування металургійних підприємств в значній мірі залежить від умов роботи транспортної системи промислового підприємства, динаміки об'єму перевезень та ряду інших факторів. На автомобільний транспорт приходиться близько 30% усього об'єму перевезень всередині металургійних підприємств, що відповідає сучасним тенденціям розвитку промислового автомобільного транспорту. У першу чергу, до цих перевезень відносяться технологічні перевезення. На цих перевезеннях використовуються великовантажні автосамоскиди БелАЗ-7540.[9]

На сьогоднішній день автомобілі самоскиди отримали широке поширення у кар'єрах металургійних підприємств. У першу чергу це зумовлюється його високими технічними і експлуатаційними показниками в складних умовах експлуатації. В системі ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» парк самоскидів БелАЗ-7540 працює на 18 різних маршрутах, що відрізняються між собою умовами транспортного процесу. Для перевезення шлаків – це найбільш напружені умови і часто форсовані роботи, що визначаються нестабільністю фізико-хімічних властивостей вантажу, відстанню вантажу, відстанню перевезень від 5 до 17 км, добовим обсягом перевезення від 850 до 2500 т, інтенсивністю перевезення до 16 поїздок на добу. Аналогічний стан і на багатьох інших металургійних підприємствах. В умовах металургійних підприємств організація роботи самоскидів роботи кар'єрних самоскидів будується відповідно до інтересів промислового матеріалопотоку, узгодженої взаємодії з ритмом цехів і підрозділів, з роботою в тяжких умовах навколишнього середовища транспортно-логістичної системи. [10]

Однією з основних задач більшості металургійних підприємств - є раціональне використання вантажопідйомності кар'єрних самоскидів. Це не завжди виконується, тому що, шлак та продукти його переробки мають певну щільність тому номінальне завантаження кузова є менше планового. Недозавантаження зумовлюється різною щільністю перевезеного вантажу, тому не завжди є можливість завантажити техніку до максимально можливого рівня. Тому як рішення цієї проблеми пропонується на основі показників роботи кар'єрного самоскиду збільшити вантажну платформу самоскидів шляхом зміни конструкції самоскиду, а саме, встановити надставні бортів на вантажну платформу самоскида БелАЗ-7540 вантажопідйомністю 30 т та зробити висновки щодо їх ефективності та доцільності.

У табл. 1 наведені основні технічні характеристики самоскида БелАЗ-7540.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики самоскида БелАЗ-7540

Основні технічні характеристики самоскида БелАЗ-7540	
Двигун	ЯМЗ-240
Повна маса, т	52600
Вантажопідйомність, т	30

Питома витрата палива при номінальній потужності, г/кВт	228
Об'єм кузова, м ³	15,1
Потужність двигуна, кВт	309
Максимальна швидкість, км/год.	50

У табл. 2 наведені середньомісячні показники роботи самоскида БеЛАЗ-7540

Таблиця 2

Середньомісячні показники роботи самоскида БеЛАЗ-7540

Середньомісячні показники роботи самоскида БеЛАЗ-7540	
Кількість перевезеного вантажу, т	28250,78
Кількість ходок з вантажем, од	1353
Номінальне завантаження, т	20,7
Кількість витраченого палива, т	2894,6
Питома витрата палива, л/т	0,10

Надставні борти будить мати наступні габаритні розміри: бічне ребро конструкції $H = 0,57$ м; довжину конструкції $L = 3$ м; ширину конструкції $B = 3,2$ м.; кут нахилу конструкції $\alpha = 57^{\circ}$. Схема конструкції металевих надставних бортів зображена на Рис. 1.

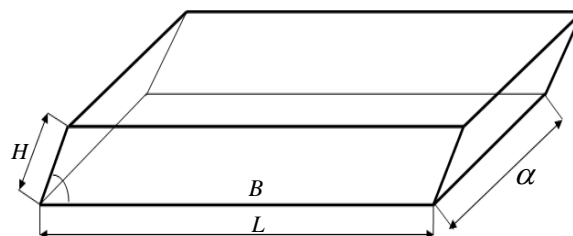


Рис. 1. Схема конструкції металевих надставних бортів самоскида БеЛАЗ-7540

Для визначення кількості додаткової маси вантажу за рахунок встановлення металевих надставних бортів на вантажну платформу самоскида БеЛАЗ-7540 були розраховані та визначені наступні величини: площа основи конструкції; об'єм конструкції, щільність ватажу.

Дані розрахунки зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку кількості додаткової маси вантажу за рахунок встановлення металевих надставних бортів на вантажну платформу самоскида БеЛАЗ-7540

Розраховані величини			
Площа основи конструкції, m^2	Об'єм конструкції, m^3	Щільність вантажу, m^3 / t	Кількість додаткової маси вантажу, t
1,4	4,5	1,4	6,3

Висновки. 1. Встановлення металевих надставних бортів на вантажну платформу самоскида БеЛАЗ-7540 дозволять значно збільшити продуктивність парку самоскидів.

2. Збільшиться об'єм платформи самоскида до 30% (на $4,5 m^3$). До встановлення - $15 m^3$, після встановлення – $19,5 m^3$.

4. Збільшиться кількість перевезеного вантажу за одну ходку до 6 т, за місяць на 12%. До встановлення – 28250,8 т міс, після встановлення – 31747,8 т місяць

5. Збільшиться номінальне завантаження автомобіля до 30%. До встановлення – 20,7 т, після встановлення – 27,0 т.

6. Зменшиться питома витрата палива на 20 %. До встановлення – 0,1 л/т, після встановлення – 0,08 л/т.

7. Подальші дослідження мають бути спрямовані на підвищення ефективності використання палива самоскидами при перевезенні металургійних шлаків та продуктів їх переробки за рахунок підвищення ефективності функціонування самоскидів.

Список літератури

1. Бондаренко Л.А. Економічне оцінювання та обґрунтування шляхів підвищення конкурентоспроможності вітчизняних кар'єрних автосамоскидів: дисертація на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)». Дніпропетровськ, 2016. 212 с.

2. Вагонова О.Г., Бондаренко Л.А. Економічна ефективність експлуатації вітчизняних автосамоскидів на кар'єрах як чинник підвищення їхньої конкурентоспроможності. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4272> (дата звернення: 17.11.2018)

3. Парунакян В.Э., Помазков М.В. Принципы совершенствования системы управления техническим содержанием большегрузных автосамосвалов на технологических перевозках металлургических комбинатов. URL: <http://cyberleninka.ru/article/v/printsipy-sovershenstvovaniya-sistemy-upravleniya-tehnicheskim-soderzhaniem-bolshegruznyh-avtosamosvalov-na-tehnologicheskikh> (дата звернення: 17.11.2018)

4. Чаплінський В.С., Кирбулюк Г.В. Дослідження факторних параметрів транспортного процесу кар'єрних самоскидів сімейства БеЛАЗ. URL: <http://intkonf.org/index.php?s=%s=%F7%E0%EF%EB%ED%F1%FC%EA%E8E9&Submit=%CF%EE%F8%F3%EA> (дата звернення: 04.11.2018)

5. Веснін А.В., Критоучук М.С., Почужевський О.Д. Методика формування раціональних параметрів системи «Двигун-Трансмісія» кар'єрних автосамоскидів та результати лабораторних і промислових досліджень її використання. *Вісник ЖДТУ*. – Кривий Ріг: КНУ, 2012. – Вип.25 – С. 24-28.

6. Тарасов П.И., Журавлев А.Г. Пути экономии дизельного топлива на карьерном автотранспорте. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/puti-economii-dizelnogo-topliva-na-kariernom-avtotransporte> (дата звернення: 04.11.2018).

7. Анісімов О.О., Довгалоук І.А. Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижавського родовища мігматитів. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2015_49_5 (дата звернення: 07.11.2018).

8. Мороз М.М. Організація перевезень гірничої маси на ПАТ «Кременчуцьке кар'єроуправління «Кварц». URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Srt_2014_2_21 (дата звернення: 07.11.2018).

9. Помазков М.В., Симкин А.И. Механизм оперативного управления оценкой технического состояния парка большегрузных автосамосвалов в металлургическом производстве. Захист металургійних машин від поломок: зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2009. – Вип. 11. – С. 87-89.

10. Помазков М.В. Забезпечення ресурсозбереження самоскидів в маршрутах утилізації металургійних шлаків і шламів: автореф. дис.. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.12 «Промисловий транспорт». Маріуполь, 2011. 21 с.

Б. П. Серета, Д. Я. Муковская

Днепровский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ САМОСВАЛОВ БелАЗ В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрены возможности эффективной работы самосвалов БелАЗ в условиях карьера металлургического предприятия. Проведено исследование мероприятий эффективности работы самосвалов при перевозке металлургических шлаков и продуктов их переработки. Рассмотрена работа современного карьера металлургического предприятия. Рассмотрены основные проблемы в организации работы карьерных автомобилей самосвалов БелАЗ. Проведен анализ существующих методов эффективности работы карьерных самосвалов БелАЗ. Представленный поиск эффективных решений направленных на увеличение продуктивности автомобилей самосвалов БелАЗ. Полученные результаты могут быть использованы для решения комплекса задач, связанных с эффективной работой карьерных самосвалов. Предложенные мероприятия позволят увеличить эффективность работы самосвалов БелАЗ в условиях карьера металлургического предприятия, тем самым снизить себестоимость перевозок.

Ключевые слова: карьерные автомобили, металлургический шлак, топливо, себестоимость перевозок, продуктивность работы, карьер металлургического предприятия.

B.P. Sereda, D.Y. Mukovska

Dneprovsky State Technical University

RESEARCH OF THE PERFORMANCE OF THE BeLAZ DUMP TRUCKS IN THE CONDITIONS OF A METALLURGICAL ENTERPRISE'S QUARRY

Considered the possibility of efficient operation of the BeLAZ dump trucks in the conditions of a metallurgical enterprise's quarry. Research was conducted of measures for the efficiency of the operation of dump trucks in the transport of metallurgical slags and their products. Reviewed the work of a modern metallurgical enterprise career. The main problems in the organization of work of open-pit trucks of BeLAZ dump trucks are considered. The analysis of exiting methods for the performance of BeLAZ dump trucks has been conducted. The analysis of existing methods for the performance BeLAZ dump trucks has been conducted. Presented for effective solutions aimed at increasing the efficiency of BeLAZ dump trucks. The results obtained can be used to solve a complex of tasks related to the efficient operation of mining dump trucks. The proposed measures will allow to increase the efficiency of the BeLAZ dump trucks in the conditions of a metallurgical enterprise's quarry, thereby reducing transportation costs.

Keywords: career cars, metallurgical slag, fuel, transportation cost, work productivity, open pit metallurgical plant.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2018

УДК 621.785.5: 621.793.6

Середа Б.П., д.т.н., професор, Палехова И.В., аспирант
Днепропетровский государственный технический университет

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе рассмотрены методы нанесения на конструкционные стали титановых покрытий, легированных бором и медью. Представлена технология формирования защитных слоев в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Исследовано влияние составов и дисперсности реакционных шихт на температурные и кинетические характеристики процесса формирования покрытий в режиме теплового самовоспламенения. Рекомендованы оптимальные составы насыщающих смесей для упрочнения углеродистых сталей износостойкими покрытиями. Проведены исследования износостойкости полученных слоев, на углеродистых сталях.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, газотранспортная технология, газотранспортные химические реакции, тепловое самовоспламенение, диффузионное насыщение, микротвердость, износостойкость.

Постановка проблемы. Для поверхностного упрочнения изделий из конструкционных и легированных сталей, работающих в сложных условиях эксплуатации, широко применяют различные способы методы модифицирования поверхности. Способы получения защитных покрытий на металлических изделиях различаются технологией нанесения покрытия и основной целью их создания является хорошая адгезия с подложкой, а также получение сплошного, беспористого и стойкого в данной среде защитного слоя. По типу соединения защитного слоя с подложкой различают адгезионные и диффузионные металлические покрытия.

Одним из наиболее широко распространенных методов поверхностного упрочнения сталей является химико-термическая обработка (ХТО), которая заключается в одновременном воздействии на поверхности температурных градиентов и веществ, химически реагирующих с металлом изделия [1].

Среди таких процессов важное место занимают технологии насыщения поверхностного слоя сталей бором.

Покрытия боридного типа имеют высокие физико-механические характеристики. Микротвердость слоев достигает 20000-30000 МПа и эти значения микротвердости могут сохраняться до температур 600-700°C, что важно для повышения износостойкости изделий, работающих при высоких температурах. При борировании на поверхности стальных изделий возможно получить достаточно протяженные слои, однако из-за различных коэффициентов температурного расширения слоя и основы, они характеризуются низкой адгезией к подложке и высокой хрупкостью [2].

Большинство из известных процессов борирования длительны (4-12 часов), трудоемки, материал- и энергозатратны [3-10], что приводит к повышению себестоимости изделий.

Кроме того, длительная высокотемпературная изотермическая выдержка может привести к перегреву стальных изделий, что значительно ухудшает структуру и механические свойства деталей. Поэтому интенсификация процессов борирования, а также получение покрытий боридного типа, устойчивых к скалыванию и получение у них заданных свойств является в настоящее время актуальной задачей. Одним из решений этой задачи может оказаться нанесение комплексных многокомпонентных покрытий в условиях самораспространяющегося высоко температурного синтеза (СВС). Технология формирования износостойких покрытий в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в значительной степени лишена указанных недостатков и позволяет получать покрытия при ограниченном или минимальном времени их формирования.

СВС - высокоинтенсивное экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, способное к самопроизвольному распространению в виде волны горения [11-14]. Эффективность обработки определяется временными параметрами процесса и

теплофизическими характеристиками СВС-смесей. Поэтому представляет интерес поиск механизма воздействия на протекание процессов теплового воспламенения.

Цель работы. Целью данной работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование физико-химических процессов, лежащих в основе получения комплексных титано-боридных покрытий на конструкционных сталях в режиме теплового самовоспламенения с применением принципа газотранспортных химических реакций [15], поиск оптимальных порошковых СВС-шихт, позволяющих формировать многокомпонентные защитные слои на сталях, изучение влияния природы насыщающих реагентов, состава реакционных смесей, химического состава сталей и параметров процесса насыщения (времени, температуры) на состав, структуру и свойства титано-боридных покрытий, полученных методом СВС. Изучение влияния добавок-катализаторов на теплофизические свойства СВС-смесей и протекание процесса диффузионного насыщения в нестационарных температурных условиях. Сравнительный анализ технологических параметров СВС-процесса, структуры, фазового, химического состава и свойств покрытий, полученных в СВС-смесях без добавок металлов-активаторов и с ними, а также исследования износостойкости слоев в условиях трения скольжения.

Материалы и методика исследования. Объектом исследования были образцы из сталей массового назначения (сталь 20, сталь 45, У8).

В качестве реакционных агентов использовали порошки дисперсностью 100-350 мкм

1. Cr_2O_3 — оксид хрома (III) - источник хрома в покрытии.

2. Al_2O_3 — оксид алюминия (III) - инертная добавка.

3. Al — алюминий марки АСД1- восстановитель оксидов

4. В — бор технический - источник бора в покрытии

5. B_4C - карбида бора - источник бора в покрытии

6 MgB_{12} - источник бора в покрытии

7. Ti — титан технической чистоты - источник титана в покрытии.

8. J_2 — йод металлический - активатор процесса насыщения.

9. NH_4Cl — хлористый аммоний - активатор процесса насыщения.

10. Cu - медь технической чистоты

Химико-термическую обработку осуществляли в реакторе открытого типа ($P=10^5$ Па) в рабочем интервале температур 850-1100 °С. Продолжительность изотермической выдержки варьировалась от 30 до 60 минут.

Подготовка поверхности образцов состояла в последовательных шлифовке, полировке и обезжиривания в ацетоне. Иницирование процесса теплового самовоспламенения осуществлялось путем предварительного нагрева в печи сопротивления до температуры начала экзотермической реакции (t_*). Температуру СВС-смесей контролировали хромель-алюмелевыми и вольфрам-ренийевыми термопарами в защитном чехле, помещенными в объем реакционной шихты, и подключенными к потенциометру серии КСП. Толщину упрочненных слоев покрытий исследовали на световом микроскопе "Neophot-21" при увеличении до $\times 250$, $\times 500$. Микроструктуру выявляли методом травления в 3% спиртовом растворе пикриновой кислоты (ТУ 6-09-08-317-80). Для выявления границ зерен феррита использовали 4% спиртовый раствор азотной кислоты [16,19]. Для анализа фазового состава покрытий использовали рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М. Исследование элементного состава покрытий проводили методом микрорентгеноспектрального анализа с применением микроанализатора JEOL "Superprob-733". Испытания на износостойкость проводились при трении о нежестко закрепленные частицы (ГОСТ 23.208-79) на установке СМТ-1. Для создания абразивно-масляной среды в масляную ванну машины трения добавляли абразивный материал, приготовленный из кварцевого песка (ГОСТ 2138-84). Для расчета равновесного состава продуктов системы были использованы прикладные пакеты программ "АСТРА.4", TERRA и REcalc [17]. При разработке составов порошковых реакционных СВС-смесей, обеспечивающих высокую износостойкость, использовали методы математического планирования эксперимента с реализацией полного факторного анализа по плану 2^3 и дробного факторного эксперимента 2^{4-1} .

Выбор оптимального состава смеси для проведения СВС – процессов в условиях теплового самовоспламенения проводили на основании результатов исследований тепловой картины СВС процесса и физико-механических свойств защитных покрытий, в частности износостойкость, ΔG (испытание на машине трения СМТ-1, $\tau_{исп.} - 5$ ч) [10,18].

В качестве независимых переменных были выбраны: содержание в СВС-смеси хромистой составляющей, титана, бора и алюминия. В качестве исходного материала была выбрана сталь 45. Активатором процесса являются J_2 и NH_4Cl для всех систем.

Расчетные уровни интервалов варьирования, характер их изменений и схемы кодирования представлены в таблицах 1 и 2. Введение в смесь больше 5% газотранспортного агента приводит к сильному растравливанию поверхности образца, менее 1% не активизирует протекание всех газотранспортных реакций.

Для получения стопроцентного состава порошковых СВС-смесей в качестве конечного продукта использовался Al_2O_3 .

Таблица 1

Исследуемые факторы для системы титан-бор

Характеристика	Факторы		
	В составе В %, мас.	В составе ХС %, мас.	В составе Ti %, мас.
Код	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	10	20	20
Интервал варьирования	5	5	5
Нижний уровень	5	15	15
Верхний уровень	15	25	25

Таблица 2

Исследуемые факторы для системы титан-бор-медь

Характеристика	Факторы			
	В составе В %, мас.	В составе Ti %, мас.	В составе Cu %, мас.	В составе ХС %, мас.
Код	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень	10	20	8	20
Интервал варьирования	5	5	3	5
Нижний уровень	5	15	5	15
Верхний уровень	15	25	11	25

Результатом эксперимента должна стать математическая зависимость между исследуемыми характеристиками в виде функциональной связи:

$$y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

В результате регрессивного анализа, были получены ряд уравнений, показывающие зависимость износостойкости защитных покрытий от режима теплового самовоспламенения и содержания легирующих элементов.

Численные значения коэффициентов регрессии и их значимость, определенные с учетом различия дисперсий для каждой функции отклика, а также проверка значимости по критерию Стьюдента и оценка адекватности модели по критерию Фишера.

Для оценки адекватности уравнений был проведен расчет по полученным уравнениям регрессии для оптимального режима теплового самовоспламенения. Результаты расчетов были сопоставлены с экспериментальными исследованиями.

Результаты исследований и их обсуждение. С точки зрения теплофизики формирование покрытий в режиме теплового самовоспламенения условно можно разделить на пять последовательных стадий: инертный прогрев реакционной смеси до температуры воспламенения, теплое самовоспламенение, прогрев изделий, изотермическая выдержка, охлаждение.

Продолжительность стадий и какие именно процессы будут протекать на каждой стадии в значительной степени зависят от составов реакционных смесей и их тепловых характеристик. Таким образом, регулируя в реакционных СВС-смесях концентрацию активных экзотермических составляющих и газотранспортных агентов, можно значительно снизить

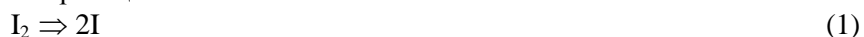
температуру начала самовоспламенения (t_*) и увеличить температуру максимального разогрева (t_m).

Экспериментально было установлено, что при нанесении покрытий системы Ti-B максимальное содержание в СВС-шихте газотранспортных агентов не должно превышать: для NH_4Cl – 5%, а для I_2 – 4%.

Продолжительность первой стадии в значительной степени зависит от состава смеси и ее тепловых характеристик. Поэтому введение в состав реакционных смесей веществ, обладающих высокими показателями теплопроводности позволяет интенсифицировать процесс самовоспламенения, а именно снизить температуру начала воспламенения t_* на 50-100 °C (при введении дополнительно 5-8% Cu) и значительно увеличить скорость прогрева шихты с 0,86 °C/c до 4,16 °C/c по сравнению с СВС-смесями без добавок медного катализатора.

Аналогичным образом влияет на основные характеристики процесса теплового самовоспламенения (t_* и t_m) увеличение в шихте концентрации активной экзотермической составляющей $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Al}$ и газотранспортного агента I_2 .

На стадии инертного прогрева происходит испарение и распад используемых газотранспортных носителей по реакциям:



На данной стадии диффузионный слой не формируется ни в смесях, содержащих B_4C и Ti, ни в смесях с содержанием MgB_{12} и Ti.

Вторая стадия (теплового самовоспламенения) характеризуется протеканием основных экзотермических реакций:



В смесях, содержащих MgB_{12} возможно протекание конкурирующей экзотермической реакции по реакции (5), однако ее экзотермический эффект в используемом для насыщения интервале концентраций достаточно слабо выражен.



Температура в реакторе резко повышается до максимальной температуры процесса t_m . Происходит образование газообразных соединений и перенос основных насыщающих элементов к подложке. Для осуществления химического транспорта необходимо наличие градиента температур между насыщающими элементами и подложкой.



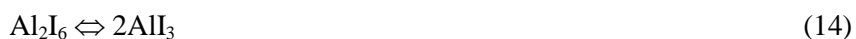
Где M – наносимый элемент, Gn – галоген, MGm – летучий галогенид.

При этом необходимо, чтобы транспортируемый элемент и подложка находились в разных температурных зонах.

Термодинамический анализ равновесного состава продуктов системы свидетельствует о присутствии в исследуемом диапазоне температур хлоридов или йодидов (в зависимости от выбранного газотранспортного агента) алюминия, хрома титана, бора с образованием летучих галогенидов. Если энергия активации взаимодействия элементов шихты с носителем меньше, чем энергия активации основного восстановительного процесса, то реакции образования летучих галогенидов будут протекать квазистационарно по мере протекания основной реакции. Если температура самовоспламенения ниже температуры начала интенсивного образования летучего галогенида, то для этого случая образование галогенидов происходит лишь на стадии нестационарного роста температуры. На поверхности внесенных в порошковую систему стальных изделий на этой стадии возможно протекание гетерогенных реакций обмена с железом подложки.

Присутствие в газовой фазе как I, так и I_2 свидетельствует о протекании в исследуемом диапазоне температур следующих химических транспортных реакций:





Термодинамически более вероятны реакции взаимодействия элементов системы с йодом в атомарном состоянии.

Также на стадии теплового самовоспламенения для СВС-составов, содержащих добавки порошка меди, при достижении максимальных температур, возможен жидкостный механизм транспорта насыщающих элементов в диффузионную зону (титан и алюминий растворяются в меди и переносятся к подложке).

Экспериментально установлено, что максимальная концентрация порошка меди в СВС-шихте не должна превышать 7-8%, так как ее рост приводит к резкому увеличению максимальной температуры воспламенения t_m , что приведет к перегреву металла основы и снижению ее физико-механических свойств, а также к спеканию шихты и, следовательно, уменьшению ее газопроницаемости для составляющих газовой фазы.

На поверхности внесенных в порошковую систему стальных изделий на этой стадии возможно протекание гетерогенных реакций обмена с железом подложки.

На 3 стадии (прогрева изделий) происходит выравнивание температуры по объему реактора. Температура процесса снижается до расчетной температуры насыщения. Начинается формирование покрытия. При этом активные атомы титана, бора, хрома и алюминия диффундируют в металлическую подложку образуя твердый раствор этих элементов в железе, также возможно образование легированных боридных фаз.

На 4 стадии (изотермической выдержки) происходит формирование постоянного диффузионного потока активных атомов насыщающих элементов. Наблюдается диффузионный рост покрытия. Увеличение продолжительности изотермической выдержки приводит к росту толщины слоя, который подчиняется параболическому закону. На этой стадии протекают процессы, аналогичные насыщению в стационарных условиях.

На 5 стадии (охлаждения) формирование диффузионных слоев происходит менее интенсивно, это объясняется уменьшением коэффициентов диффузии насыщающих элементов. Максимальная скорость роста покрытий наблюдается на начальных этапах СВС-процесса. Это связано с тем, что аустенит, образующийся при резком повышении температуры на стадии теплового самовоспламенения характеризуется высокой плотностью дислокаций по краям зерен и разветвленностью межзеренных границ [21-22]. В связи с этим его диффузионная восприимчивость увеличивается.

На толщину формируемых покрытий влияют состав шихты, продолжительность и температура изотермической выдержки. Фазовый состав зон в значительной степени зависит от особенностей диффузионного механизма легирующих элементов и химического состава подложки.

Размер зерен покрытия зависит от скорости охлаждения.

Регулируя температурные условия процесса, можно управлять как скоростью роста слоев, так и их структурой.

Установлено, что при одновременном способе обработки, основным фактором, влияющим на толщину покрытия, является концентрация легирующих элементов в реакционной смеси.

С увеличением концентрации углерода в подложке, толщина покрытия уменьшается.

Фазовый состав зон в значительной степени зависит от особенностей диффузионного механизма легирующих элементов и химического состава подложки.

По результатам металлографического и рентгеноструктурного анализов установлено, что при совместном насыщении сталей титаном и бором диффузионный механизм формирования покрытия имеет некоторые особенности: захват активных атомов бора и титана поверхностью металла происходит в разных местах и конкуренции между ними нет [20]. Скорость диффузии титана в сталях ускоряется вследствие встречной диффузии углерода с образованием карбидов и карбоборидов различного состава. Этот процесс повышает твердость подборидной зоны.

В местах совместной диффузии бора и титана преобладает диффузионный механизм образования покрытия. Диффундирующие элементы образуют фазы внедрения или замещения с образованием на углеродистых сталях легированные титаном, хромом и алюминием карбидные, боридные и карбоборидные фазы. Диффундирующий титан замещает железо в карбидах и карбоборидах железа, повышая их устойчивость.

В поверхностном слое образцов из углеродистых сталей образуются соединения титана с бором, представляющие собой продукт СВС-взаимодействия. Полученные титано-боридные покрытия характеризуются игольчатым строением, однако при совместном насыщении с титаном, игольчатая структура менее выражена, иглы имеют более округлую форму, карбидные образования приобретают глобулярную форму, таким образом повышая пластичность покрытия, вследствие чего снижается величина разрушающих напряжений.

Образовавшиеся покрытия имеют многофазное строение и состоит из TiB_2 , легированных соединений $(Fe, Cr, Al)B$, $(Fe, Cr, Al)_2B$, $(Fe, Cr, Al)Ti_2$ и переходной зоны твердого раствора B , Ti , Cr , Al в железе.

При исследовании диффузионных слоев на приборе ПМТ-3 установлено, что микротвердость соединений бора с титаном на поверхности технического железа и сталей составляет $30000 \div 32000$ МПа. Микротвердость легированных боридных фаз колеблется в пределах $14000 \div 16000$ МПа, а микротвердость переходной зоны не превышает 4500 МПа.

Результаты испытания стальных образцов на износ в условиях трения скольжения на машине трения СМТ-1 представлены на рис. 1.

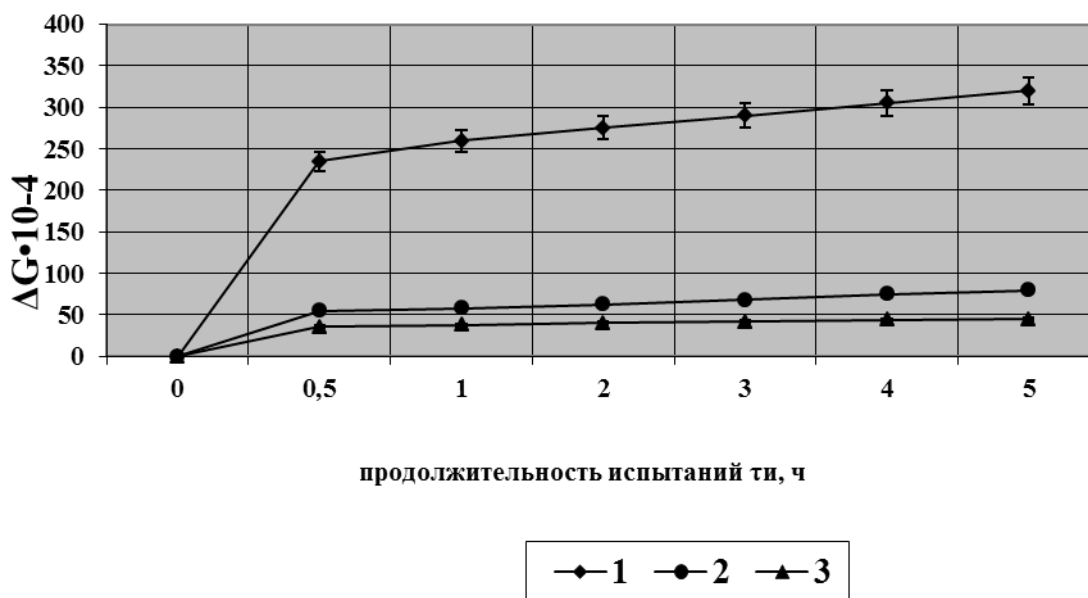


Рис. 1. Зависимость износостойкости различных пар трения от продолжительности испытания на машине СМТ-1 и вида покрытия на стали 45 в присутствии абразивно-масляной прослойки

1 – контрольный образец сталь 45 без покрытия.

2 – образец с титаноборидным покрытием на стали 45, полученным способом ХТО при изотермической выдержке 4 часа.

3 – образец с титаноборидным покрытием на стали 45, полученным методом СВС при продолжительности изотермической выдержки 60 мин.

Графики свидетельствуют о значительном увеличении износостойкости обработанных образцов. Сравнивались образцы с покрытиями, нанесенными методом СВС (продолжительность насыщения 60 мин.) и химико-термической обработкой в изотермических условиях (продолжительность обработки 4 часа). Толщина покрытий в обоих случаях примерно одинакова. В качестве контрольного образца использовался образец из стали 45 без покрытия.

В результате испытаний установлено повышение износостойкости СВС покрытий по сравнению с диффузионным аналогом на 45-50%, что связано с присутствием в покрытии

сложнолегированных фаз и объясняется особенностями СВС-процесса. По сравнению с контрольным образцом наблюдается повышение износостойкости в 7-8 раз.

Выводы:

1. Метод СВС позволяет получать на углеродистых сталях качественные покрытия на основе титана при снижении материальных и энергетических затрат.
2. Проведено моделирование по поиску оптимальных порошковых СВС-смесей для получения износостойких защитных титановых покрытий на сталях 45 и У8 с использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Исследованы структуры защитных слоев и их износостойкость в условиях трения скольжения.
3. Титаноборированные стали с СВС-покрытиями обладают улучшенными показателями износостойкости (в 7,0-8,0 раз) по сравнению с образцами без покрытия.

Список литературы

1. Трефилова Н. В. Анализ современных методов нанесения защитных покрытий// Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 67-67
2. Ворошнин Л. Г., Ляхович Л. С. Борирование стали. – М.: Металлургия, 1978 – 239 с.
3. Ворошнин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов.- Минск, 1981 – 237 с.
4. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Ю.М. Лахтин // – М.: Металлургия, 1993. – 448 с.
5. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / под ред. Ляховича Л.С.- М.: Металлургия, 1981.- 424 с.
6. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. Учебное пособие для вузов. - М.: Металлургия, 1985. - 256 с.
7. Филоненко Б. А. Комплексные диффузионные покрытия. М.: Машиностроение. 1981 – 137 с.
8. Лабунец В. Ф., Ворошнин Л. Г., Киндрачук М. Ф. Износостойкость боридных покрытий.- Киев: Изд. «Техніка», 1989, 204 с.
9. Шатинский В. Ф., Нестеренко А. И. Защитные диффузионные покрытия.– Киев: Наукова думка, 1988 – 272 с.
10. Лахтин Ю. М. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов / МиТОМ, 1988, №11, с. 11-14
11. Мержанов А. Г. Процессы горения и синтез материалов.- Черноголовка: ИСМАН, 1998.- 512 с.
12. Grigor'ev Y. M., Merzhanov A.G. SHS coatings / Int. J. of SHS, 1992, v.1, №4.- p. 600-639
13. Коган Я. Д., Середа Б. П., Штессель Э. А. Высокоинтенсивный способ получения покрытий в условиях СВС / Металловедение и термическая обработка металлов, 1991, №6.- с.39-40
14. Середа Б. П. Современное состояние и перспективы развития технологий нанесения защитных покрытий в условиях СВС / Б. П. Середа, И. В. Кругляк, В. И. Иванов // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2004. – №1. – С. 88-93.
15. Шефер Г. Химические транспортные реакции.- М.: Мир, 1964.- 189 с.
16. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению.- М.: Металлургия, 1979.- 336 с.
17. Синярев Г. Б., Ватолин Н. А., Трусов Б. Г., Моисеев Р. К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов.- М.: Наука, 1982. – 263с.
18. Середа Б. П., Иванов В. И., Грицай В. П., Усенко Ю. И. Получение борированных покрытий в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Изв. ВУЗов. Черная Металлургия, 1998, №9, с. 57-61
19. Бялік О. М., Кондратюк С. Є., Киндрачук М. В., Черненко В. С. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник. – К.:ВПВ ВПК «Політехніка», 2006. – 328с.
20. Гурьев А. М., Иванов С. Г. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном поверхностном легировании железоуглеродистых сплавов / Упрочняющие технологии и покрытия, 2011, №1, с. 56-61
21. Sereda B., Sereda D. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts. Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016-1339p.-P.945-948.

22. Sereda B., Sereda D. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy. Material science and technology 2016. Conference and Exhibition. Salt Lake City, Utah USA 2012-1550p.-P.931-934

Б.П.Середа, д.т.н., професор, І.В. Палехова, аспірант
Дніпровський державний технічний університет

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОВИХ ПОКРИТТІВ НА КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЯХ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ

В роботі розглянуті методи нанесення на конструкційні сталі титанових покриттів, легованих бором і міддю. Представлена технологія формування захисних шарів в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу. Досліджено вплив складів і дисперсності реакційних шихт на температурні і кінетичні характеристики процесу формування покриттів в режимі теплового самозаймання. Рекомендовані оптимальні склади насичуючих сумішей для зміцнення вуглецевих сталей зносостійкими покриттями. Проведено дослідження зносостійкості отриманих покриттів, на вуглецевих сталях.

Ключові слова: високотемпературний синтез, газотранспортна технологія, газотранспортні хімічні реакції, теплове самозаймання, дифузійне насичення, мікротвердість, зносостійкість.

B.P. Sereda, doctor of technical sciences, professor, I.V.Paleshova, postgraduate
Dniprovsky State Technical University

FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF DOPED TITANIUM COATINGS ON CONSTRUCTION STEELS IN NONSTATIONARY TEMPERATURE CONDITIONS

The paper discusses the methods of deposition of titanium coatings alloyed with boron and copper on structural steels. The technology of the formation of protective layers under conditions of self-propagating high-temperature synthesis is presented. The influence of the composition and dispersion of the reaction mixtures on the temperature and kinetic characteristics of the process of the formation of coatings in the thermal self-ignition mode was investigated. The optimal compositions of saturating mixtures for hardening carbon steels with wear-resistant coatings are recommended. Studies of the wear resistance of the layers obtained on carbon steels were carried out.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, gas transmission technology, gas transport chemical reactions, thermal self-ignition, diffusion saturation, microhardness, wear resistance.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2018

УДК 621.9.048

Симонюк В.П., к.т.н., Денисюк В.Ю., к.т.н., Лапченко Ю.С., к.т.н., Красовський В.В.
Луцький національний технічний університет**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІБРОБУНКЕРА ПРИ РІЗНИХ СХЕМАХ ВМИКАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ**

В статті розглянуто математичну модель просторового руху вібробункера. Прийнята динамічна система із змінним випадковим чином тензором інерції. Встановлено, що причинами випадкових змін тензора інерції є хаотичне переміщення деталей і гранул одна відносно одної, зміщення частинки робочого середовища до однієї із стінок, нелінійні залежності тертя між деталями та абразивом, місцеві обертальні рухи групи деталей і гранул, взаємодія жорстких деталей із стінками вібробункера, хвильові коливальні процеси в корпусі вібробункера. Врахування в динамічній моделі випадкових змін тензора інерції суттєвим чином підвищує точність розрахунків динамічних процесів при вібраціях бункера. Сферичний рух вібробункера визначається законом включення електромагнітів і приводить до спіралевидного руху вібробункера в усталених динамічних режимах. Перехідні процеси мають місце при включенні електромагнітів і проявляються у вигляді складних поперечно-кутових переміщень вібробункера та обумовлюють значні динамічні навантаження на робоче середовище.

Ключові слова: вібраційна обробка, вібробункер, циркуляційний рух, електромагніт, абразивний матеріал, переміщення.

Постановка проблеми. Процес вібраційної обробки полягає в послідовному нанесенні по поверхні оброблюваних деталей великої кількості мікроударів, а також нанесенні великої кількості мікроподряпин по поверхні частинками робочого середовища. В залежності від призначення технологічної операції можуть застосовуватись абразивні й інші неметалічні матеріали з різними характеристиками, а також металічні середовища з робочими тілами відповідної форми і розмірів.

Інтенсивність вібраційної обробки залежить від режимів і часу обробки, характеристики і розмірів частинок робочого середовища, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей тощо. До числа основних параметрів даного процесу відносяться: характер руху робочої камери і частинок робочого середовища, їх швидкість і пришвидшення, сила мікроударів, контактні тиски, температура, яка виникає в зоні дії мікроударів, середня температура в робочій камері. На швидкість руху робочого середовища впливає амплітуда і частота коливань. Із їх збільшенням швидкість циркуляції робочого середовища зростає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При дії вібрації на сипучі тіла, внаслідок наявності значних сил зчеплення між частинками, є необхідність застосовувати значно більші режими коливань. Так, для переведення дрібнодисперсних сипучих тіл в стан кипіння, пришвидшення коливань повинні в декілька разів перевищувати пришвидшення вільного падіння [1].

При режимі роботи, коли завантажена в робочу камеру маса отримує значні пришвидшення, які перевищують в 5 – 7 та більше разів пришвидшення сили тяжіння, маса відривається від дна робочої камери і виникає відносний рух робочого середовища, деталей та корпусу робочої камери [2].

Із збільшенням амплітуди, знімання металу зростає внаслідок збільшення сил мікроударів частинок робочого середовища і збільшення шляху активної взаємодії їх на оброблювану поверхню [3]. На продуктивність процесу впливає і частота коливань. Із збільшенням частоти коливань знімання металу зростає (до певного значення). Зростання зняття металу із збільшенням кількості мікроударів абразивних частинок в оброблювану поверхню за одиницю часу пояснюється зростанням швидкості відносного їхнього ковзання і зростанням сил мікроударів в результаті збільшення пришвидшення абразивних частинок при незмінній їх масі. Спостереження за поведінкою робочого середовища в робочій камері показали, що із збільшенням частоти коливань рух всієї маси пришвидшується [4].

На продуктивність процесу впливає і частота коливань, із збільшенням якої зняття металу зростає швидко, до певного значення, пізніше затухає [4]. Зростання зняття металу із збільшенням частоти пояснюється збільшенням кількості мікроударів абразивних частинок в оброблювану поверхню за одиницю часу, збільшенням швидкості відносного проковзування їх

та величини зусиль мікроударів абразивних частинок внаслідок росту пришвидшень при незмінній масі частинок. Спостереження за поведінкою робочого середовища в робочій камері показало, що із збільшенням частоти коливань перемішування всієї маси пришвидшується.

Проаналізувавши викладене, можна зробити висновок, що найкраща продуктивність при вібраційних методах обробки деталей вільними абразивами досягається при найбільшій амплітуді коливань, яку можна отримати саме при частотах коливань, близьких до резонансних. Підвищення ефективності обробки досягається збільшенням швидкості взаємного зіткнення деталі і гранул абразиву.

Постановка завдань. Метою дослідження є встановлення оптимальних режимів роботи вібраційної системи.

Моделювання просторового руху вібробункера, при різних схемах вмикання електромагнітів доцільно здійснити, розглянувши три парціальні динамічні системи поступального руху вібробункера та парціальну систему сферичного руху із змінним випадковим чином тензором інерції.

Викладення основного матеріалу. В процесі обробки вібробункер здійснює просторовий рух, який складено із поступального руху полюса (точка P) x, y, z та сферичного руху, що характеризується кутами Ψ, θ, φ (рис. 1).

Просторовий рух вібробункера здійснюється під дією зовнішніх і внутрішніх силових факторів. Зовнішні силові фактори, що діють на вібробункер, подані у вигляді головного вектора R і головного моменту M .

Силові фактори є результатом дії електромагнітних приводів та ударних навантажень при взаємодії вібробункера з упорами. Вібробункер має складну систему пружного підвісу, яка забезпечує переміщення у довільному напрямі. В процесі досліджень встановлено, що основний вплив на процес обробки здійснює сферичний рух вібробункера.

Тому для математичного моделювання руху вібробункера розроблена нова динамічна модель, відповідна схемі сферичного руху твердого тіла. Новим науковим положенням є врахування стохастичних змін тензора інерції, що визначає сферичний рух вібробункера.

Загальна динамічна модель вібробункера включає парціальні системи поступального руху та парціальну систему сферичного руху. Переміщення полюса вібробункера в проекціях на вісі координат відповідають трьом парціальним динамічним підсистемам (рис. 2).

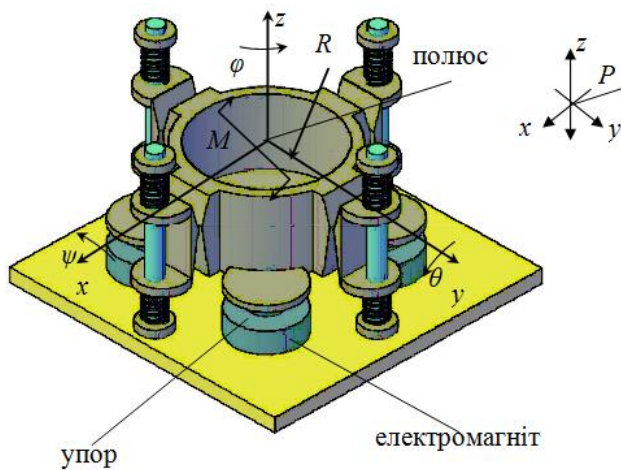


Рис. 1. Схема просторового руху вібраційної установки

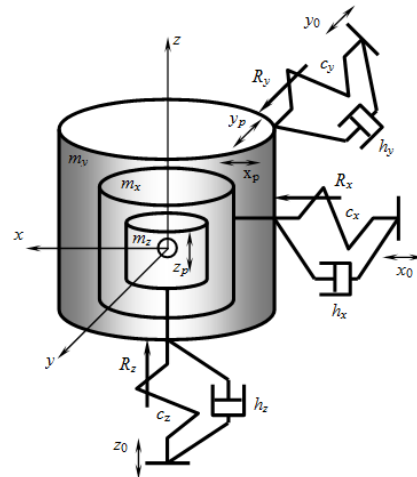


Рис. 2. Три парціальні динамічні підсистеми поступального руху полюса вібраційної установки

Кожна парціальна підсистема визначає переміщення вібробункера в одному напрямку. Характерним є переміщення вібробункера у вертикальному напрямку.

На динамічній моделі показано еквівалентну жорсткість пружин C_z , коефіцієнт опору h_z , який описує сили тертя в напрямних; m_0 – масу вібробункера із хрестовиною; m_c – масу робочого середовища; R – силу, яка діє на вібробункер у вертикальному напрямку.

Для вертикального переміщення вібробункера складено диференціальне рівняння рівноваги сил:

$$(m_0 - m_c) \frac{d^2 z}{dt^2} + h_z \frac{dz}{dt} + c_z z = R + (m_0 + m_c)g, \quad (1)$$

де, z – переміщення вібробункера;
 g – пришвидшення вільного падіння.

Переміщення вібробункера обмежено упором. Тому до рівняння (1) додається обмеження:

$$z \leq z_m, \quad (2)$$

де, z_m – відстань від початкового (нульового) положення вібробункера до упора.

Для розробки математичної моделі диференціальне рівняння (1) приведено до виду інтегрального рівняння. Для цього виконано подвійне інтегрування в часі рівняння (1), в результаті якого значення переміщення вібробункера:

$$z = \frac{1}{m_0 + m_c} \int_0^t \int_0^t \left[R + (m_0 + m_c)g - c_z - h_z \frac{dz}{dt} \right] (dt)^2. \quad (3)$$

Модель (3) подана у вигляді структури (графа). Значення переміщення z і швидкості dz/dt , які входять в підінтегральний вираз, вводяться через систему зворотних зв'язків.

Структурна модель реалізована засобами математичних пакетів. Вона включає вхід P , що задає поточні значення сили R , яка входить до правої частини рівняння (1).

Виходом структурної моделі Out1 є вертикальне переміщення вібробункера. В моделі, в якості входів задаються сила ваги $d = (m_0 - m_c)g$, коефіцієнт жорсткості пружини $C = C_z$, та коефіцієнт опору $b = h_z$. Дана модель є універсальною і придатна для розрахунку переміщення вібробункера в напрямках x і y при підстановці відповідних величин.

Для розрахунку переміщення в напрямку x виходом моделі Out1 є переміщення x . Входом моделі є $P = R_x$, значення коефіцієнтів $c = c_x$, $b = h_x$, а гравітаційна стала $d = 0$. Відповідно для переміщення вібробункера у напрямку y маємо $P = R_y$, Out1 = y , $c = c_y$, $b = h_y$, $d = 0$.

Для реалізації математичної моделі поступального переміщення вібробункера необхідно задати проекції сили, що діють на вібробункер. Прийнято, що зусилля, яке діє з боку кожного магніту на вібробункер, описується синусоїдальною функцією, частота якої дорівнює $\nu = 50$ Гц та додатковою складовою у вигляді широкополосного випадкового процесу.

При цьому проекція вертикального навантаження на вібробункер, описана залежністю

$$R_z = \sum_{i=1}^4 A_i \sin(2\pi\nu t) + R_{zsi}(t), \quad (4)$$

де A_i – амплітудне значення сили i -го електромагніта; R_{zsi} – випадкова складова сили i -го електромагніта.

Проекції на осі x і y навантаження на вібробункер задані у вигляді випадкових процесів, відповідно R_{xs} та R_{ys} .

Виконано математичне моделювання переміщення вібробункера при різних схемах вмикання електромагнітів (рис. 3).

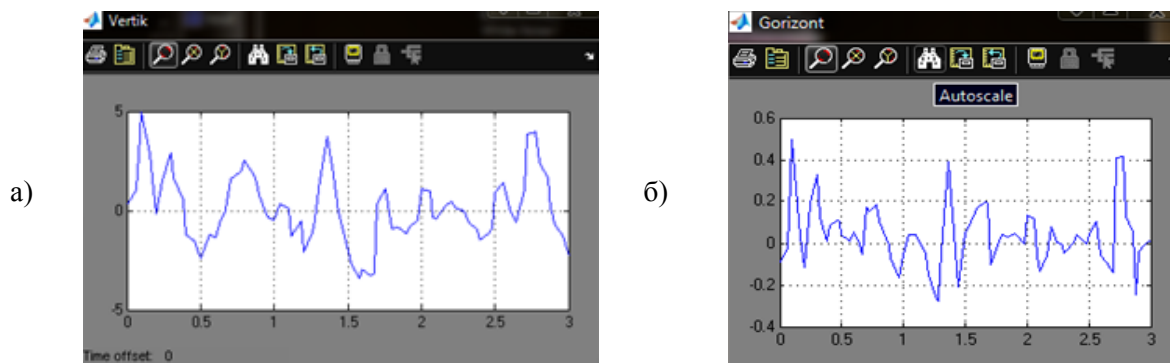


Рис. 3. Математичне моделювання вертикальних (а) та горизонтальних (б) переміщень вібробункера при одночасному включенні всіх чотирьох електромагнітів

При зменшенні числа включених електромагнітів амплітуда вертикальних переміщень вібробункера пропорційно зменшується. Наявність жорстких упорів змінює характер руху вібробункера. Коли висота розташування упорів є близькою до амплітуди переміщень вібробункера має місце просте обмеження руху вібробункера вниз (рис. 4).

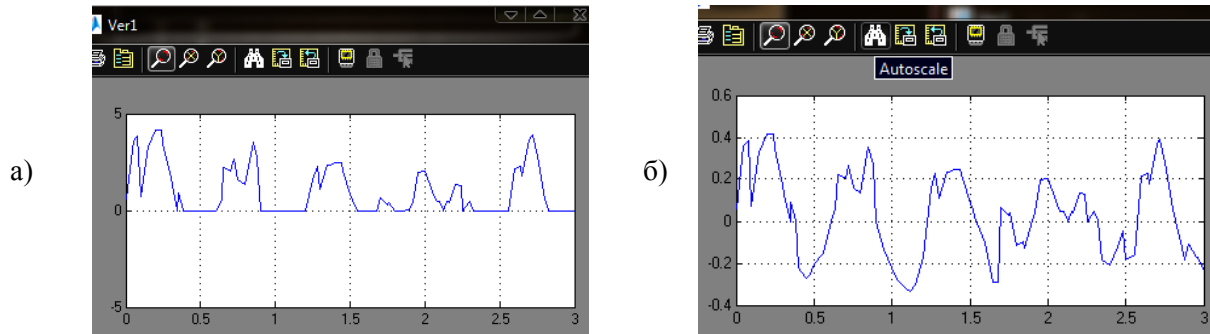


Рис. 4. Переміщення вібробункера при наявності обмежень його руху (упорів):
а – вертикального; б – горизонтального

При одночасному включенні всіх чотирьох електромагнітів поперечні коливання вібробункера є близькими до синусоїдальних і відбуваються в напрямку вісі z . При включенні трьох або двох електромагнітів має місце інтенсивний поперечний рух вібробункера (рис. 4, б).

В процесі досліджень виконано математичне моделювання сферичного руху вібробункера. Для цього розглянута парціальна динамічна підсистема сферичного руху (рис. 5).

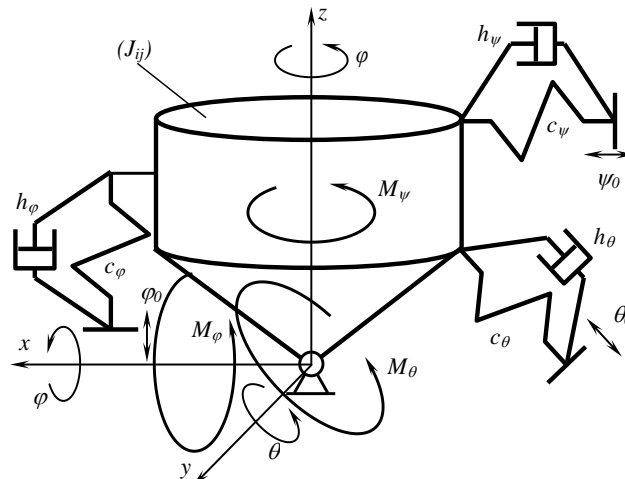


Рис. 5. Парціальна динамічна підсистема сферичного руху вібробункера

Прийнята динамічна система із змінним випадковим чином тензором інерції. Запропоновано врахувати випадкові зміни компоненти тензора інерції при моделюванні. Це суттєвим чином підвищує точність розрахунків динамічних процесів при вібраціях бункера.

Причини випадкових змін тензора інерції:

- хаотичне переміщення деталей і гранул одна відносно одної;
- зміщення частинки робочого середовища до однієї із стінок;
- нелінійні залежності тертя між деталями та абразивом;
- місцеві обертальні рухи групи деталей і гранул;
- взаємодія жорстких деталей із стінками вібробункера;
- хвильові коливальні процеси в стінках вібробункера.

Визначимо вектор моменту кількості руху динамічної системи вібробункера у вигляді:

$$\vec{L} = \sum_{n=1}^N m_n (\vec{r}_n \times \vec{V}_n) \quad (5)$$

де, m_n – маса n -го елемента робочого середовища (деталі, гранули);

N – загальна кількість елементів (гранули абразиву та деталей);

\vec{r}_n – радіус-вектор, який характеризує положення n -го елемента відносно початку координат;

\vec{V}_n – вектор швидкості окремого елемента робочого середовища.

Осереднені для системи кінематичні параметри:

$$\vec{V}_n = \vec{\omega} \times \vec{r}_n \quad (6)$$

$\vec{\omega}$ – вектор миттєвої кутової швидкості обертання вібробункера.

Стохастичний вектор кінетичного моменту вібробункера визначається у вигляді:

$$\vec{L} = \sum_{n=1}^N m_n [\vec{r}_n \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_n)] = \sum_{n=1}^N m_n [\vec{\omega}(\vec{r}_n \cdot \vec{r}_n) - \vec{r}_n(\vec{r}_n \cdot \vec{\omega})] \quad (7)$$

Проекція вектора кінетичного моменту:

$$L_i = \sum_{n=1}^N m_n \omega_i \sum_{l=1}^3 x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} \sum_{k=1}^3 \omega_k x_k^{(n)} \quad (8)$$

де, ω_i – проекція осередненого вектора кутової швидкості на вісь x_i , $x_1^{(n)}, x_i^{(n)}, x_k^{(n)}$ – координати n -ої деталі або гранул абразиву.

Проекції кутової швидкості визначаються із залежності

$$\omega_i = \sum_{k=1}^3 e_{ik} \omega_k \quad (9)$$

одичний тензор:

$$e_{ik} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

проекції стохастичного вектора моменту кількості руху:

$$L_i = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^N m_n \omega_k \left(\sum_{l=1}^3 e_{ik} x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} x_k^{(n)} \right) = \sum_{k=1}^3 \omega_k I_{ik}, \quad (10)$$

де вводимо стохастичний тензор моментів інерції системи I_{ik} :

$$I_{ik} = \sum_{n=1}^N m_n \sum_{l=1}^3 e_{ik} x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} x_k^{(n)} \quad (11)$$

Формула (11) визначає змінну в часі інертність вібробункера $I_{ij} = \text{var}$, яка є випадковою величиною.

Компоненти стохастичного тензора інерції вібробункера в розгорнутому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{11} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_2^{(n)})^2 + (x_3^{(n)})^2 \right] = I_{x_1 x_1} \\ I_{22} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_3^{(n)})^2 + (x_1^{(n)})^2 \right] = I_{x_2 x_2} \\ I_{33} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_1^{(n)})^2 + (x_2^{(n)})^2 \right] = I_{x_3 x_3} \\ I_{12} = I_{21} = - \sum_{n=1}^N m_n x_1^{(n)} x_2^{(n)} = I_{x_1 x_2} \\ I_{13} = I_{31} = - \sum_{n=1}^N m_n x_1^{(n)} x_3^{(n)} = I_{x_1 x_3} \\ I_{23} = I_{32} = - \sum_{n=1}^N m_n x_2^{(n)} x_3^{(n)} = I_{x_2 x_3} \end{array} \right. \quad (12)$$

Для характеристики стохастичного тензора виконана його графічна інтерпретація у вигляді еліпсоїда інерції (рис. 6).

Рівняння еліпсоїда інерції має вигляд:

$$I_{xx}x^2 + I_{yy}y^2 + I_{zz}z^2 - 2I_{yz}yz - 2I_{zx}zx - 2I_{xy}xy = 1 \quad (13)$$

Для головної системи координат:

$$I_x x_0^2 + I_y y_0^2 + I_z z_0^2 = 1 \quad (14)$$



Рис. 6. Геометрична інтерпретація випадкового тензора інерції вібробункера у вигляді еліпсоїда інерції

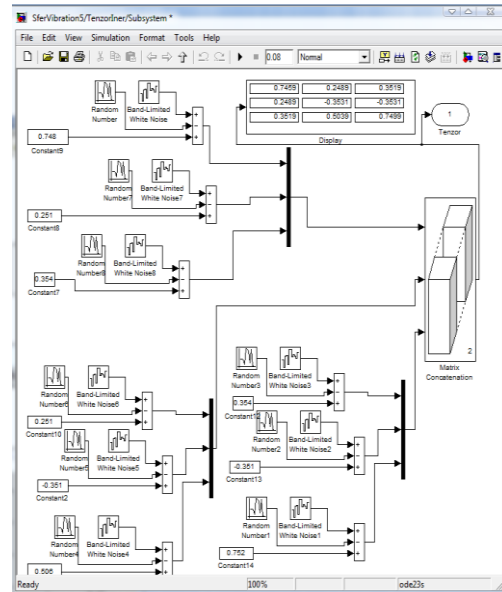


Рис. 7. Математична модель для формування стохастичного тензора інерції системи

Дані рівняння враховують стохастичні зміни еліпсоїда інерції (рис. 6).

Стохастичні зміни тензора інерції приводять до змін осей еліпсоїда та до повороту його в просторі. При математичному моделюванні задані випадкові значення компонент тензора інерції вібробункера. Для цього застосована спеціальна структурна математична модель (рис. 7).

Для розрахунку поперечно-кутових переміщень вібробункера складено його диференціальні рівняння сферичного руху вібробункера у векторному вигляді:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{L} = \vec{M} \quad (15)$$

де \vec{L} – стохастичний вектор кінетичного моменту вібробункера;

$\vec{\omega}$ – випадковий вектор кутової швидкості вібробункера;

\vec{M} – випадковий вектор головного моменту, що діє на вібробункер.

Стохастичний кінетичний момент вібробункера визначено через його тензор інерції:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad (16)$$

Векторне рівняння (15) подано у проекціях на осі координат. При цьому рівняння для визначення проекції кінетичного моменту на осі координат:

$$\begin{cases} \frac{dL_x}{dt} + \omega_y L_z - \omega_z L_y = M_x; \\ \frac{dL_y}{dt} + \omega_z L_x - \omega_x L_z = M_y; \\ \frac{dL_z}{dt} + \omega_x L_y - \omega_y L_x = M_z. \end{cases} \quad (17)$$

Рівняння для розрахунку проекції випадкового моменту кількості руху відповідні векторним рівнянням:

$$\begin{cases} L_x = I_{xx}\omega_x - I_{xy}\omega_y - I_{zx}\omega_z; \\ L_y = -I_{xy}\omega_x + I_{yy}\omega_y - I_{yz}\omega_z; \\ L_z = -I_{zx}\omega_x - I_{zy}\omega_y + I_{zz}\omega_z. \end{cases} \quad (18)$$

Наведена система рівнянь використовується для розробки математичних моделей сферичного руху вібробункера. Структурна модель має ряд блоків.

Блок Tenzoriner призначений для формування шести параметрів обернених відповідним значенням компонент тензора інерції. Блок має в своєму складі модуль Subsystem, що обчислює випадковий тензор інерції.

Блок Vektor Omega призначений для обчислення вектора кутової швидкості вібробункера. Він реалізує знаходження проєкцій кутової швидкості із системи рівнянь (18), яка перетворена до вигляду:

$$\begin{cases} \omega_x = \frac{1}{I_{xx}}(L_x - I_{xy}\omega_y - I_{zx}\omega_z); \\ \omega_y = \frac{1}{I_{yy}}(L_y + I_{xy}\omega_x + I_{yz}\omega_z); \\ \omega_z = \frac{1}{I_{zz}}(L_z + I_{zx}\omega_x + I_{zy}\omega_y). \end{cases} \quad (19)$$

Невідомі, які входять в праву частину системи (19), задаються на вході блока. Структура блока Vektor Omega включає суматори та блоки множення, що реалізують обчислення згідно формул (19).

Основним блоком загальної моделі є блок обчислення проєкцій кінетичного моменту Kinet Moment. Даний блок реалізує розв'язок системи диференціальних рівнянь (17). Шляхом інтегрування за часом система приводиться до інтегральних рівнянь наступного виду:

$$\begin{cases} L_x = \int_0^t (M_x - \omega_y L_z + \omega_z L_y), \\ L_y = \int_0^t (M_y - \omega_z L_x + \omega_x L_z), \\ L_z = \int_0^t (M_z - \omega_x L_y + \omega_y L_x). \end{cases} \quad (20)$$

Для забезпечення інтегрування структури блока Kinet Moment використовують модулі Integrator. Входом блока є початкові значення кінетичного моменту та проєкції кутової швидкості. Додатковим входом блока є модуль для обчислення проєкцій моментів сил, що діють на вібробункер. Момент формується як вектор в блоці Vektor Moment). Структури блока має три ланцюги, призначені для формування проєкцій стохастичних моментів сил, що діють на вібробункер. Кожен ланцюг виконано за типовою схемою.

Наведена математична модель застосована для розрахунку поперечно-кутових переміщень вібробункера при дії випадкового ударного навантаження. Виконано математичне моделювання просторових коливань вібробункера при синусоїдальних знакозмінних навантаженнях. Із початкового нульового положення вібробункер набуває спіральної форми просторового переміщення. В основному він відхиляється відносно вісей x (кут ψ) та відносно вісі y (кут θ). В залежності від циклограми включення електромагнітів, має місце поперечно-кутове переміщення вібробункера із постійним трендом в сторону діючих електромагнітів (рис. 8).

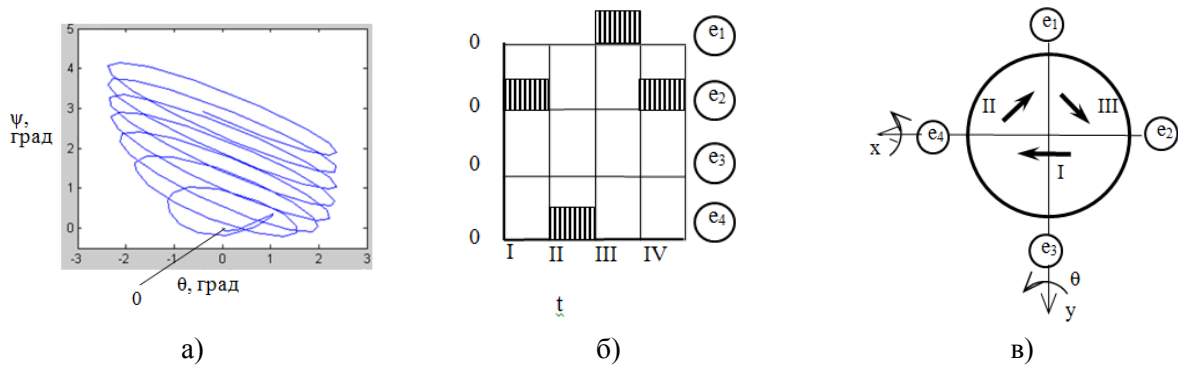


Рис. 8. Результати математичного моделювання поперечно-кутових переміщень вібробункера (а) при циклічному включенні електромагнітів відповідних циклограмі (б) навколо осей x і y (в)

Із результатів моделювання випливає, що дія електромагнітів приводить до плавного спірального руху вібробункера. Це пояснюється демпфуючою дією робочого середовища, яке згладжує рух вібробункера. Зміна циклограмі включення електромагнітів приводить до зміни напрямку переміщення вібробункера (рис. 9).

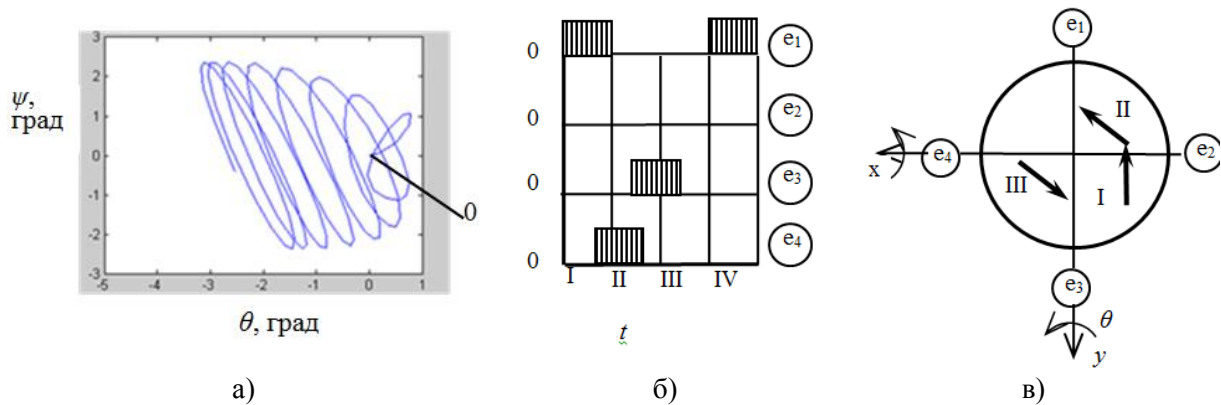


Рис. 9. Поперечно-кутові переміщення вібробункера (а), відповідні циклограмі (б) при розташуванні магнітів по схемі (в)

Ступінь витягнутості спіралі залежить від часу включення магнітів. Характерним є переміщення вібробункера при імпульсних ударних навантаженнях випадкового характеру. Випадкові ударні навантаження виникають при ударі вібробункера при його взаємодії з упором. При ударі на один упор виникають поперечно-кутові навантаження (рис. 10). Удар має місце в точці А. В ній вібробункер нахилений у від'ємному напрямку відносно осі ($\theta < 0$). При ударі вібробункер різко переміщується і займає горизонтальне положення в точці О. Рухаючись за інерцією, вібробункер переміщується, повертаючись на додатний кут θ в напрямку точки В.

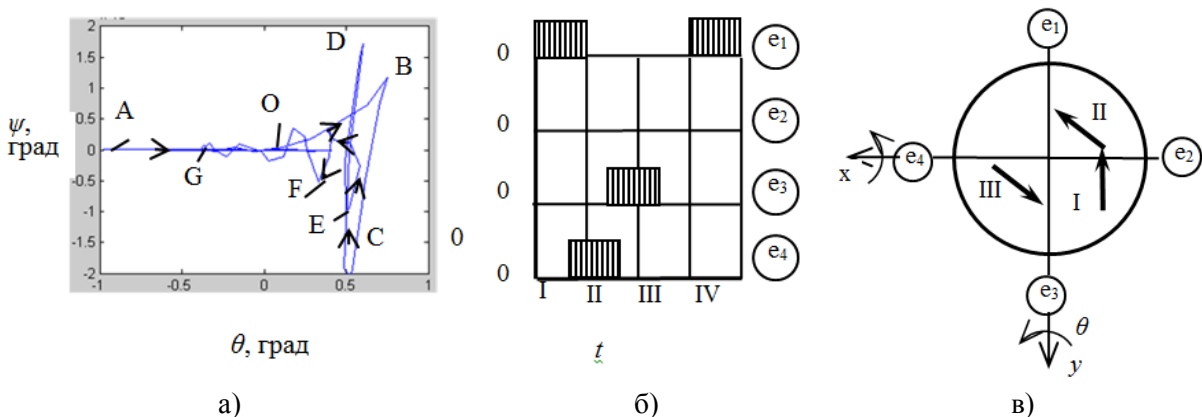


Рис. 10. Поперечно-кутові переміщення вібробункера при ударному навантаженні в одній точці (удар по одному упору)

При цьому, внаслідок переміщення робочого середовища, симетричний рух вібробункера порушується і вісі відхиляються, набуваючи додаткового повороту на кут $\varphi = 1,2^\circ$ (точка В₁). Інерція робочого середовища викликає його коливальні поперечно-кутові переміщення відносно вісі x . Має місце майже два нових коливання із точки В по лінії CDE. Швидкий коливальний рух вібробункера навколо вісі x затухає, а одночасно відбувається поперечно-кутове переміщення вібробункера навколо вісі y . При цьому має місце переміщення вібробункера відповідне точкам FG з подальшим асимптотичним переміщенням в точку O.

Висновки. В результаті математичного моделювання встановлено, що сферичний рух вібробункера визначається законом включення електромагнітів і приводить до спіралевидного руху вібробункера в усталених динамічних режимах. Перехідні процеси мають місце при включенні електромагнітів і проявляються у вигляді складних поперечно-кутових переміщень вібробункера. Перехідні процеси обумовлюють значні динамічні навантаження на робоче середовище.

Інформаційні джерела

1. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / А.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 410 с.
2. Струтинський В.Б. Вдосконалення обладнання та процесу ударно-імпульсної обробки деталей у вібробункері: монографія / В.Б. Струтинський, В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк – Луцьк: СПД Галяк Жанна Володимирівна друкарня "Волиньполіграф"™, 2016. – 139 с.
3. Струтинський В.Б. Дослідження закономірностей повільного циркуляційного вихрового руху робочого середовища у вібробункері / В.Б. Струтинський, В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк / "Перспективні технології та прилади". Збірник статей. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 176–185.
4. V. Symonyuk Experimental study of circulating vortex movement working environment in vibrobunker / V. Symonyuk, V. Denysiuk, Y. Lapchenko / Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 12, September 2017, Pages 41-54, DOI 10.2412/mmse.58.82.178 provided by.

Симонюк В.П., Денисюк В.Ю., Лапченко Ю.С., Красовский В.В.
Луцкий национальный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВИБРОБУНКЕРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГИТОВ

В статье рассмотрено математическую модель пространственного движения вибробункера. Принятая динамическая система с переменным случайным образом тензором инерции. Установлено, что причинами случайных изменений тензора инерции является хаотическое перемещение деталей и гранул друг относительно друга, смещение частицы рабочей среды к одной из стенок, нелинейные зависимости трения между деталями абразивом, местные вращательные движения группы деталей и гранул, взаимодействие жестких деталей со стенками вибробункера, волновые колебательные процессы в корпусе вибробункера. Учет в динамической модели случайных изменений тензора инерции существенным образом повышает точность расчетов динамических процессов при вибрациях бункера. Сферическое движение вибробункера определяется законом включения электромагнитов и приводит к спиралевидному движению вибробункера в устоявшихся динамических режимах. Переходные процессы имеют место при включении электромагнитов и проявляются в виде сложных поперечно-угловых перемещений вибробункера и обуславливают значительные динамические нагрузки на рабочую среду.

Ключевые слова: *вибрационная обработка, вибробункер, циркуляционный движение, электромагнит, абразивный материал, перемещение.*

V. Symonyuk, V. Denysiuk, Y. Lapchenko, V. Krasovskyi
Lutsk National Technical University

**MATHEMATICAL MODELING OF WIBROBUNKER TRANSMISSION IN
DIFFERENT ELECTRIC MAGNETIC CONTROLS**

In the article, the mathematical model of the spatial motion of the vibrator bunker is considered. Accepted dynamic system with random variables with tensor of inertia. It was established that the causes of random changes in the tensor of inertia are the chaotic displacement of parts and granules one relative to one, the displacement of the particle of the working medium to one of the walls; nonlinear dependence of friction between the parts and the abrasive; local rotational movements of the group of parts and granules; the interaction of the hard parts with the walls of the vibrator bunker; wave oscillation processes in the body of the vibrator bunker. The inclusion in the dynamic model of random changes in the tensor of inertia significantly increases the accuracy of the calculations of dynamic processes under bunker vibrations. The spherical motion of the vibrator bunker is determined by the law of the inclusion of electromagnets and leads to the spiral movement of the vibrator bunker in the established dynamic modes. Transient processes take place when electromagnets are turned on and manifest in the form of complex transverse angular displacements of the vibrator bunker and cause significant dynamic loads on the working environment.

Keywords: vibration treatment, vibrobunker, circulation movement, electromagnet, abrasive material, displacement.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2018

УДК 351.862.1

Федорчук-Мороз В.І., к.т.н., Вісин О.О., к.і.н.
Луцький НТУ

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ НАСЕЛЕННЯ ТА ТЕРИТОРІЙ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ТА ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Підвищення рівня безпеки населення та територій при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у Волинській області. В роботі проведено аналіз динаміки надзвичайних ситуацій, які виникли в Україні у 2017 році за походженням та за масштабами, з'ясовано основні причини їх виникнення та регіональний розподіл. Розглянуто найпоширеніші надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру на Волині. Запропоновано заходи щодо підвищення рівня безпеки населення та територій при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у регіоні.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, техногенна та природна безпека, населення та території, аварії та катастрофи.

Постановка проблеми. У проголошеній в Україні стратегії забезпечення безпеки людини, суспільства та держави пріоритетним завданням визначено запобігання виникненню надзвичайних ситуацій (далі – НС). Виконання цього завдання вимагає прийняття науково-обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на запобігання НС, планування заходів щодо зниження ризиків виникнення НС та мінімізації можливих наслідків [1]. Тому здійснення комплексної оцінки техногенної і природної безпеки держави, пошук шляхів підвищення рівня безпеки населення при виникненні надзвичайних ситуацій має важливе значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових джерел показав, що існує багато підходів до оцінки небезпек НС та ризику їх виникнення. Так, Г. Хміль [1] пропонує визначення комплексної оцінки техногенної та природної безпеки в регіональному вимірі на основі методів системного аналізу та інтегральних показників ризику. Проведені нею дослідження показали, що кількісна порівняльна оцінка техногенної та природної безпеки регіонів необхідна для управління безпекою населення шляхом видачі рекомендацій щодо оптимального розподілу матеріальних і фінансових ресурсів між регіонами на запобігання НС та зниження ризиків їх виникнення при розробці державних і регіональних програм, спрямованих на підвищення безпеки населення в найбільш уразливих регіонах. Г.В. Іванець [2] здійснив аналіз основних факторів, які, на його думку, впливають на стан небезпеки виникнення НС та зазначив, що порівняльні оцінки небезпечних факторів різних регіонів України суттєво різняться, що зумовлено розвитком їхнього промислового комплексу, природно-ресурсним потенціалом, екологічною і соціальною ситуацією. П. Г. Беловим [3] розроблені показники оцінки стану небезпеки території та зроблена спроба її розподілу у відповідності декільком рівням небезпек окремо для НС техногенного та природного характеру. Підвищенню рівня безпеки населення при виникненні надзвичайних ситуацій приділено недостатню увагу, тому дане питання потребує подальшого вивчення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Основним завданням публікації є аналіз динаміки НС і стану природної та техногенної безпеки в Україні за 2017 рік, вивчення причин виникнення та пошук шляхів підвищення рівня безпеки населення при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у Волинській області.

Виклад матеріалів дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. За офіційними даними Державної служби надзвичайних ситуацій упродовж 2017 року в Україні зареєстровано 166 надзвичайних ситуацій, які відповідно до Національного класифікатора «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 розподілилися на:

- техногенного характеру - 50;
- природного характеру - 107;
- соціального характеру - 9.

За масштабами надзвичайні ситуації, що виникли у 2017 році, розподілилися на:

- державного рівня - 2;
- регіонального рівня - 8;
- місцевого рівня - 69;

- об'єктового рівня - 87.

Порівняно з 2016 роком загальна кількість НС у 2017 році збільшилася на 11,4 %, при цьому кількість НС техногенного характеру зменшилася на 10,7 %, а кількість НС природного та соціального характеру збільшилася на 20,2 % та 125 % відповідно. Також, у 2017 році спостерігається зменшення кількості загиблих і постраждалих у НС – на 6 % та 50,6 % відповідно [4]. Кількісні показники НС за 2017 р. порівняно з 2016 р., наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Кількісні показники надзвичайних ситуацій, що виникли у 2017 році, порівняно із 2016 роком

Дані про надзвичайні ситуації	2016 рік	2017 рік	Зменшення (збільшення) у відсотках
Загальна кількість НС:	149	166	+11,4
У тому числі:			
Техногенного характеру	56	50	-10,7
Природного характеру	89	107	+20,2
Соціального характеру	4	9	+125,0
У тому числі за рівнями:			
Державного рівня	1	2	+100,0
Регіонального рівня	9	8	-11,1
Місцевого рівня	64	69	+7,8
Об'єктового рівня	75	87	+16,0
Загинуло людей внаслідок НС	183	172	-6,0
Постраждало людей внаслідок НС	1805	892	-50,6
Матеріальні збитки від НС, тис. грн.	265306	896804	+238,0

Збільшення кількості НС природного характеру сталося через зростання на 43 % частки НС, пов'язаних із особливо небезпечними інфекційними захворюваннями сільськогосподарських тварин (африканська чума свиней), натомість на 13 % зменшилася кількість НС, пов'язаних із інфекційною захворюваністю та отруєнням людей. У 2017 році зафіксовано зростання кількості НС, пов'язаних із пожежами в природних екосистемах (більш ніж в 2,7 рази) та метеорологічних НС (на 17 %).

Збільшення кількості НС соціального характеру, загиблих та постраждалих в них людей пояснюється збільшенням кількості нещасних випадків з людьми, у тому числі внаслідок дії небезпечних природних явищ (блискавки) та нехтування правилами безпеки на водних об'єктах.

Водночас у 2017 році зареєстровано зменшення майже на 39 % кількості НС, пов'язаних із пожежами та вибухами. Серед інших НС техногенного характеру у 2017 році на 45,5 % збільшилася кількість НС унаслідок аварій на транспорті (16 НС у 2017 році проти 11 НС у 2016 році) та на 75 % – НС внаслідок аварій на системах життєзабезпечення (7 НС у 2017 році проти 4 НС у 2016 році).

У таблиці 2 наведено статистичні дані щодо кількісних показників класифікованих надзвичайних ситуацій.

Таблиця 2

Статистичні дані щодо кількісних показників класифікованих НС

Вид НС	Кількість НС		Загинуло людей		Постраждало людей	
	2016 р.	2017 р.	2016 р.	2017 р.	2016 р.	2017 р.
НС техногенного характеру						
НС унаслідок аварій чи катастроф на транспорті	11	16	33	67	128	33
НС унаслідок пожеж, вибухів у тому числі	36	22	116	61	35	42
у будівлях або спорудах житлової призначеності	29	14	100	42	11	17
НС унаслідок наявності у навколишньому середовищі шкідливих і радіоактивних речовин понад ГДК	0	1	0	0	0	0
НС унаслідок раптового руйнування будівель і споруд	4	4	3	6	2	10
НС унаслідок аварій у системах життєзабезпечення	4	7	0	0	0	0
НС унаслідок аварій у системах нафтогазового промислового комплексу	1	0	0	0	0	0
Всього НС техногенного характеру	56	50	152	134	165	85
НС природного характеру						
Геологічні НС	1	1	0	0	0	0
Метеорологічні НС	6	7	4	0	13	54
Гідрологічні НС поверхневих вод	0	2	0	1	0	0
НС, пов'язані з пожежами у природних екологічних системах	4	11	0	0	1	0
Медико-біологічні НС	78	86	15	12	1626	747
Всього НС природного характеру	89	107	19	13	1640	801

У регіональному розрізі найбільшу кількість НС, що виникли упродовж 2017 року, зафіксовано у Донецькій (24 НС) та Одеській (13 НС) областях. У м. Києві зареєстровано 12 НС, у Харківській та Рівненській областях зареєстровано по 10 НС, у Херсонській та Черкаській областях – 9 НС. Найменшу кількість НС зареєстровано у Хмельницькій області (2 НС), по 3 НС зареєстровано у Запорізькій, Кіровоградській, Львівській, Сумській, Тернопільській та Чернігівській областях.

Аналіз природних процесів у Волинській області за минулі роки свідчить, що в області мають місце екстремальні метеорологічні явища (сильні вітри, град, зливи, повені, обледеніння ліній електропередач), які можуть спричинити надзвичайні ситуації регіонального рівня. В окремих випадках вони набувають масштабного характеру і завдають значних збитків господарству, населенню та регіону в цілому. Крім того, є низка факторів, які сприяють виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру. До них належать: недотримання правил пожежної безпеки і техніки безпеки на виробництві та в побуті, недостатнє матеріально-технічне забезпечення та впровадження заходів щодо запобігання небезпечним техногенним явищам, незадовільний стан внутрішньогосподарських меліоративних каналів та споруд, який перебуває у крайній занедбаному стані і потребує відновлення, тощо [5].

Окрім цього, протягом останніх 5 років на території області щороку виникає близько тисячі пожеж, внаслідок яких гине понад 50 людей, матеріальні збитки в середньому становлять 49,3 млн грн. Найбільша їх частка (60-70 %) припадає на сільську місцевість.

Загалом впродовж 2010 – 2014 років у сільських населених пунктах області виникло 3229 пожеж, в результаті яких загинуло 170 осіб, в тому числі 12 дітей.

Велика кількість сільських населених пунктів знаходиться на значній відстані (до 30–40 км) від місць розташування основних пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України, у зв'язку з чим час їх прибуття до місця пожежі може становити до однієї години. Тому вагому роль у забезпеченні пожежної безпеки в сільській місцевості відіграє наявність боєздатних підрозділів місцевої пожежної охорони (далі – МПО). Залучення підрозділів МПО значно сприяє зменшенню негативних наслідків від цих пожеж, не дає змоги розповсюджуватись пожежам на початковій стадії та дозволяє мінімізувати матеріальні збитки, завдані ними.

В умовах розташування області на межі з Рівненською АЕС, наявності великої кількості хімічно небезпечних підприємств, посилюється необхідність забезпечення непрацюючого населення засобами індивідуального захисту. Територія Маневицького району розташована у межах 30-кілометрової зони Рівненської АЕС, у яку потрапляють 46 населених пунктів, в яких проживає близько 40 тисяч людей. Крім цього, на території області розташовано 12 хімічно небезпечних об'єктів, де зберігається і використовується у технологічному процесі понад 40 тонн хімічно небезпечних речовин, у зону можливого хімічного ураження яких потрапляє понад 28 тисяч людей.

Сьогодні захист населення і територій від надзвичайних ситуацій регулюється 17-ма законами України та безліччю підзаконних актів. Можна констатувати, що в Україні на сьогодні сформувалася, в цілому, основна законодавча і нормативно-правова база у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій. Проте, вона розроблялася у різний час, тому деякі документи втратили свою актуальність або увійшли в суперечність з реаліями і потребами держави не відповідають нормам міжнародного права, яке в останні роки зазнало суттєвих змін. Робота щодо удосконалення нормативно-правової бази постійно продовжується.

Забезпечення захисту населення і територій у разі загрози та виникнення НС є одним із найважливіших завдань держави.

Актуальність проблеми забезпечення безпеки населення і територій зумовлена тенденціями зростання втрат людей і завдання шкоди територіям, що спричиняються небезпечними явищами, аваріями і катастрофами. Ризики НС природного і техногенного характеру невпинно зростають. Це пояснюється збільшенням антропогенного впливу на навколишнє середовище, прогресуючим зносом основних фондів, зниження загального рівня техніки безпеки і виробничої дисципліни.

Стратегію безпеки в XXI столітті Україна повинна будувати, базуючись на аналізі швидкозмінної реальності, нових ризиків і динаміки існуючих глобальних проблем.

Метою державної політики у сфері захисту населення і територій від НС на найближче десятиріччя буде забезпечення гарантованого захисту життя, здоров'я людей, територій, об'єктів у допустимих межах показників ризику, критерії яких встановлюються з урахуванням вітчизняного і світового досвіду в даній галузі [6].

З метою підвищення рівня безпеки населення і територій Волинською обласною радою була прийнята комплексна регіональна програма захисту населення і територій від НС техногенного та природного характеру на 2016-2020 роки. В результаті виконання Програми прогнозується значне підвищення рівня функціонування територіальної підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту та її ланок. Внаслідок цього будуть створені позитивні умови щодо реалізації в області державної політики у сферах діяльності, які спрямовані на максимально можливе, системне та економічно обґрунтоване зменшення негативного впливу надзвичайних ситуацій (подій) та їх наслідків на населення, об'єкти господарювання та довкілля:

- зменшення збитків від наслідків надзвичайних ситуацій;
- реалізація запланованого комплексу заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій (подій) техногенного та природного походження сприятиме зменшенню їх кількості на території області, зменшенню бюджетних витрат на ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій (подій) та зменшенню втрат населення;
- реалізація передбачених Програмою заходів, спрямованих на розвиток та вдосконалення сил реагування, сприятиме розширенню діапазону дій аварійно-рятувальних підрозділів (команд), підвищенню оперативності та ефективності проведення першочергових аварійно-рятувальних робіт, наслідком чого має стати зменшення втрат від надзвичайних ситуацій (подій);

- виконання заходів Програми дасть змогу забезпечити населення, яке потрапляє у зону небезпеки, засобами радіаційного та хімічного захисту, що дозволить суттєво підвищити рівень безпеки та захищеність від впливу шкідливих техногенних факторів.

Висновки. Ефективність системного регулювання безпекою доведена позитивним досвідом розвинених країн Європи, в яких вже протягом тривалого часу впроваджуються превентивні заходи, що значно зменшило кількість надзвичайних ситуацій (подій) техногенного походження та зменшило втрати від надзвичайних ситуацій природного характеру.

Реалізація заходів комплексної регіональної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у Волинській області на 2016-2020 роки дасть змогу використати науковий, технічний та організаційний досвід з метою значного підвищення рівня практичного запровадження в області Єдиної державної системи попередження виникнення надзвичайних ситуацій (подій) техногенного та природного характеру (зниження рівня негативного впливу), готовності сил і засобів до реагування щодо захисту населення і територій та надання допомоги населенню з ліквідації наслідків в інтересах безпеки окремої людини, суспільства та довкілля.

Список використаних джерел

1. Хміль Г. Комплексна оцінка техногенної та природної безпеки України в регіональному вимірі. / Г. Хміль // Надзвичайна ситуація, №5, 2005. – С. 52-55.

2. Іванець Г.В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі моніторингу / Г.В. Іванець // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2016, випуск 3(48) – С. 142-145.

3. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов – М.: Академия, 2003. – 512 с.

4. Інформаційно – аналітична довідка про виникнення надзвичайних ситуацій в Україні у 2017 році – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-zakvartal/72899.html>.

5. Комплексна регіональна програма захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру у Волинській області на 2016-2020 роки (Цивільний захист 2016-2020 роки) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.vodres.gov.ua/content-view-91.html>.

6. Васійчук В.О. Основи цивільного захисту: навч. посіб. / В.О. Васійчук, В.Є. Гончарук, С.І. Качан, С.М. Мохняк. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 384 с.

В.И. Федорчук-Мороз, А.А. Висын

Луцкий национальный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА В ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ

Повышение уровня безопасности населения и территорий при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в Волынской области. В работе проведен анализ динамики чрезвычайных ситуаций, возникших в Украине в 2017 году по происхождению и по масштабам, выяснены основные причины их возникновения и региональное распределение. Рассмотрены наиболее распространенные чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера на Волыни. Предложены мероприятия по повышению уровня безопасности населения и территорий при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в регионе.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, техногенная и природная безопасность, население и территории, аварии и катастрофы.

V. Fedorchuk-Moroz, O. Visyn
Lutsk National Technical University

**INCREASING THE SAFETY OF POPULATION AND TERRITORIES IN THE CASE OF
EXTRAORDINARY SITUATIONS OF TECHNOGENIC AND NATURAL CHARACTER IN
VOLYN REGION**

Increase of the level of safety of population and territories in case of emergencies of technogenic and natural nature in the Volyn region. The work analyzes the dynamics of emergencies that arose in Ukraine in 2017 by origin and scale, as well as the main reasons for their occurrence and regional distribution. The most widespread emergency situations of technogenic and natural character in Volhynia are considered. Measures have been proposed to increase the level of safety of population and territories in the event of emergencies of man-made and natural disasters in the region.

Key words: emergency situations, technogenic and natural safety, population and territories, accidents and disasters.

Стаття надійшла до редакції 11.11.2018

УДК 681.518

Цивінда Н.І., к.т.н., Кіяновський М.В., д.т.н., Іванова О.Р. магістрант
ДВНЗ "Криворізький національний університет" (Кривий Ріг, Україна)

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЗАГОТОВОК НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ВИСОКОМАРГАНЦОВИХ СТАЛЕЙ

Показано вплив якості поверхонь заготовок з важкообробних матеріалів (високомарганцевих сталей) на стійкість високопродуктивного ріжучого інструменту з надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору та шляхи підвищення ефективності обробки таких матеріалів за рахунок використання вперше встановлених закономірностей збільшення в 5-6 разів характеристик стійкості інструменту із ПСТМ шляхом усунення умов переривчатого різання.

Ключові слова: високомарганцеві сталі, дефекти поверхні заготовки, ріжучий інструмент, стійкість.

Постановка проблеми. В останні роки збільшилися обсяги виготовлення деталей з високомарганцевих сталей для гірничо-металургійного устаткування. Це обумовлено планами збільшення до 2020 року видобутку на 50% і виробництвом близько 450 млн. т високоякісної залізної руди. Застосування високомарганцевих сталей зумовлено необхідністю збільшення ресурсу робочих органів обладнання (траки гусеничних машин, зуби і передні стінки ковшів екскаваторів, деталі шоківих і конусних дробарок, футерування млинів та ін.). Основним конструкційним матеріалом для виготовлення даного обладнання є високомарганцева сталь 110Г13Л [1].

Ефективність процесу механічної обробки визначається стійкістю ріжучого інструменту, від ресурсу якого залежить також трудомісткість обробки найбільш масових деталей гірничо-металургійного устаткування. Перспектива використання дорогих сучасних інструментальних матеріалів для підвищення стійкості ріжучого інструменту, а відповідно і ефективності обробки практично вичерпана в даний час, про що свідчить інформація отримана з матеріалів останніх досліджень і публікацій [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обробка різанням деталей з важкооброблюваних марок сталей і чавунів є актуальною проблемою, яка інтенсивно розробляється і впроваджується на провідних машинобудівних підприємствах. Рівень швидкостей різання загартованих сталей і сплавів, схильних до наклепування (110Г13Л, 120Г18Х2МНЛ) при обробці традиційними інструментальними матеріалами (ВК8, Т5К10, Т15К6) складає $V = 6-12$ м/хв., $t = 6-8$ мм, $s = 0,8-1,5$ мм/об, що стримує умови продуктивної обробки заготовок з висомарганцевих сталей.

Сьогодні в усьому світі зростає виробництво й застосування лезових ріжучих інструментів (РІ) із синтетичних надтвердих матеріалів – полікристалічних алмазів і кубічного нітриду бору (КНБ). Лезовим інструментом із КНБ можна обробляти загартовані сталі й чавуни твердістю до 70 HRC, а також сталей і сплавів, схильних до наклепування (110Г13Л, 120Г18Х2МНЛ), тобто матеріалів які можна було обробляти тільки шліфуванням, попереднім нагріванням, тощо. Це мотивує встановити умови ефективності впровадженням нових технологій обробки [2].

Мета (завдання) дослідження. Використання ріжучих пластин з надтвердих матеріалів на основі КНБ на практиці зустрічає обмеження через схильність до швидкого руйнування при зміні умов різання, які можливі при обробці заготовок із дефектами литва (на рис.1.- раковини, залишки формувальних матеріалів), а також відносно висока вартість обробки, що стримує впровадженням нових технологій обробки і використання ріжучих пластин з надтвердих матеріалів на основі КНБ.

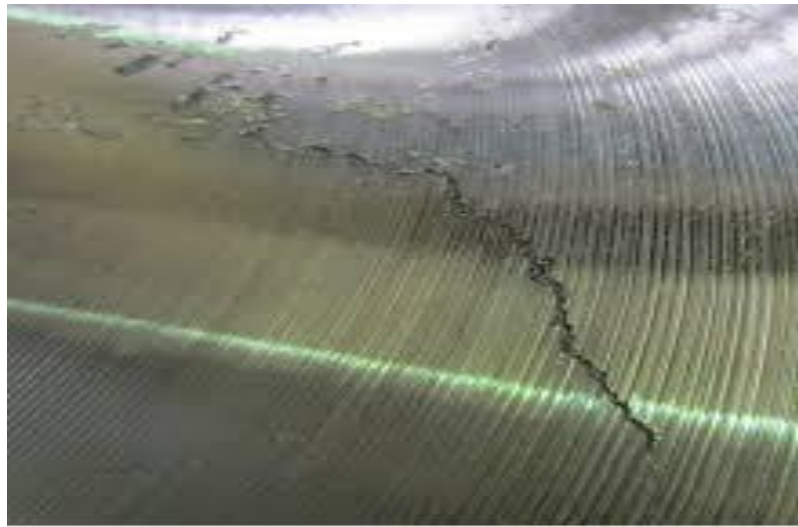
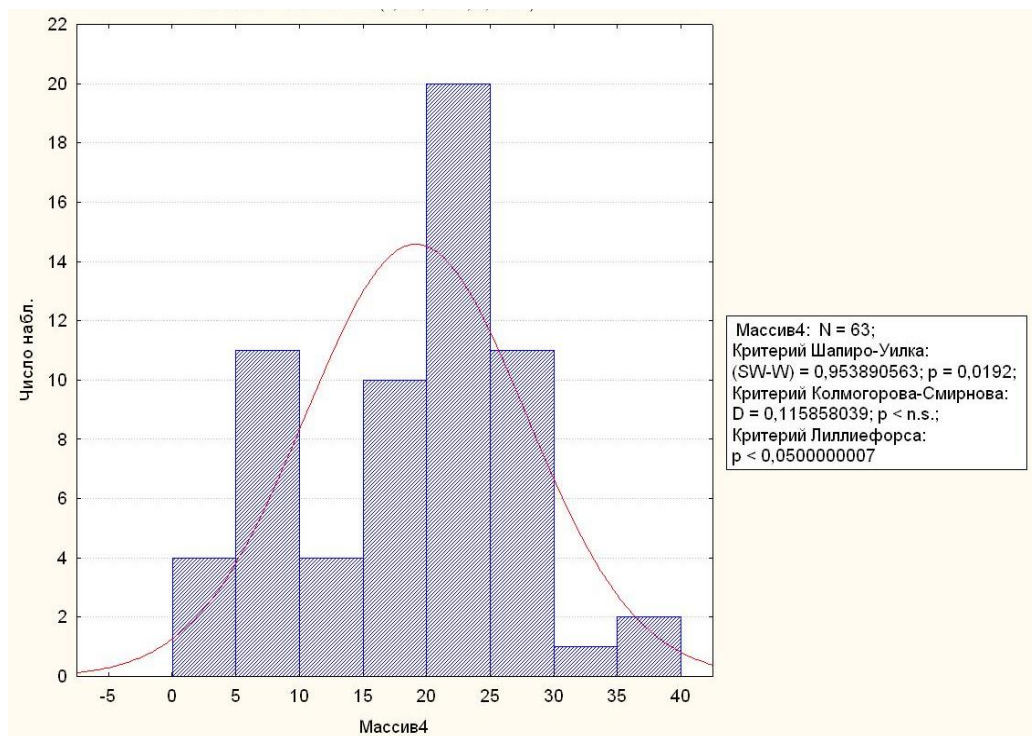


Рис.1. Дефекти поверхні заготовки, що створюють умови переривчатого різання при механічній обробці поверхні

Основний матеріал дослідження. Вказані вище обмеження отримали визначення при проведенні експериментальних досліджень обробки броней конусних дробарок, де фіксувались граничні спрацювання ріжучих пластин з надтвердих матеріалів на основі КНБ [10].



Переменная	Описательные статистики (Таблица данных)																		
	набл.	N	Среднее	Геометр. Среднее	Гармонич. Среднее	Медиана	Мода	Частота моды	Сумма	Минимум	Максимум	Нижняя Квартиль	Верняя Квартиль	Дисперс.	Стд. откл.	Станд. Ошибка	Асимметрия	Стд. ош. Асимметрия	Эксцесс
Массив4	63	19,03810	16,30786	12,57912	21,00000	24,00000	6	1199,400	2,000000	36,00000	11,20000	25,00000	74,29175	8,619266	1,085925	-0,300325	0,301589	-0,811760	0,594841

Рис.2. Описові статистики масиву стійкості ріжучих пластин

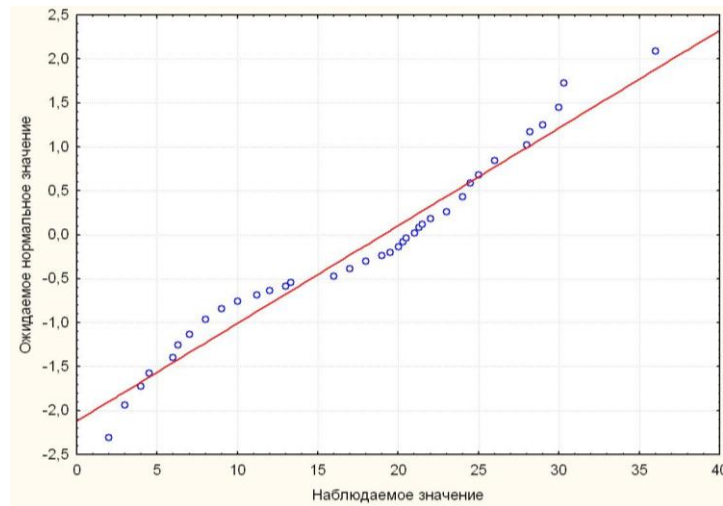


Рис. 3. Перевірка гіпотези про вид закону розподілу ймовірності значень стійкості.
Нормальний ймовірнісний графік масиву

Оцінивши отримані результати, робимо висновки, що всі опрацьовані масиви підпорядковуються нормальному розподілу. Про це свідчать значення всіх визначених критеріїв, які використовуються для з'ясування та позначення нормальності. Однак S-подібні криві на нормальних ймовірнісних графіках (більш чітко виражені для одних масивів, та менш явні на інших) – вказують на те, що серед даних зведених до масивів чітко прослідковуються два окремі процеси, на розподіл яких і були направлені подальші дії [3, 4, 5, 6, 8].

Після опрацювання даних отриманих по кожному з масивів, встановлена межа між двома процесами і здійснивши розподіл прийшли до наступних результатів.

1) Масив 1-1 – Кількість відпрацьованих годин пластин з КНБ, які використовувались лише при чорновій обробці броней із дефектами литва.

Переменная	Описательные статистики (Таблица данных1)																
	N набл.	Среднее	Геометр. Среднее	Гармонич. Среднее	Медиана	Сумма	Минимум	Максимум	Нижняя Квартиль	Верхняя Квартиль	Дисперс.	Стд.откл.	Станд. Ошибка	Асимметрия	Стд.ош. Асимметрия	Эксцесс	Стд.ош. Эксцесс
Var1	18	7,500000	6,799963	5,962266	7,500000	135,0000	2,000000	13,00000	6,000000	10,00000	9,287059	3,047468	0,718295	0,016484	0,536278	-0,537078	1,037795

Рис. 4. Описові статистики масиву 1-1

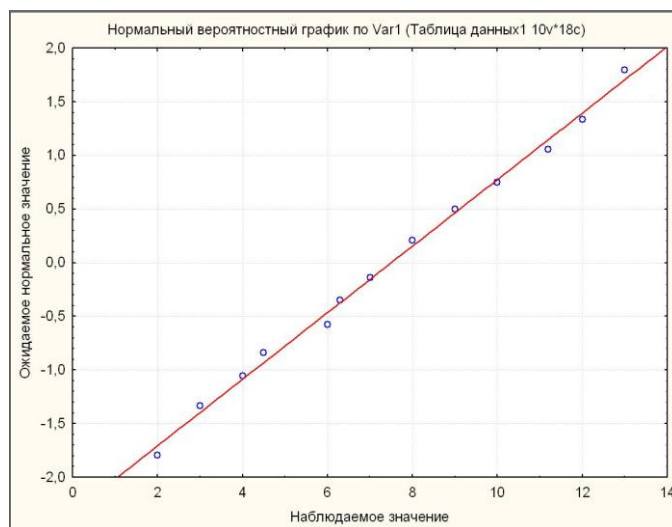


Рис. 5. Нормальний ймовірнісний графік масиву 1-1

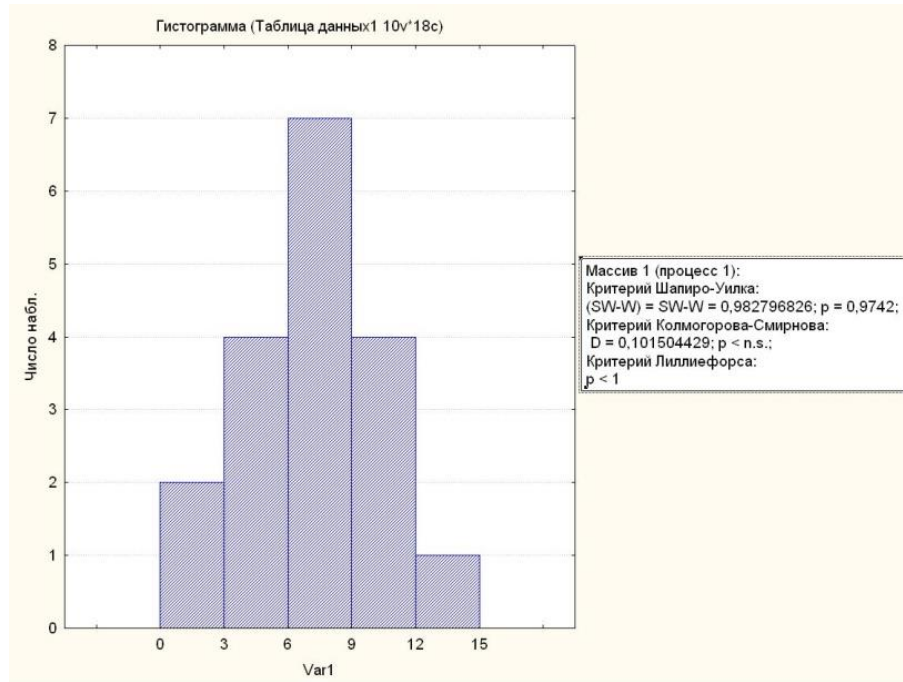


Рис. 6. Гістограма масиву 1-1

2) Масив 1-2 – Кількість відпрацьованих годин пластин з КНБ, які використовувались лише при чорновій обробці броней без дефектів литва:

Переменная	Описательные статистики (Таблица данных1)																
	N набл.	Среднее	Геометр Среднее	Гармонич Среднее	Медиана	Сумма	Минимум	Максимум	Нижняя Квартиль	Верхняя Квартиль	Дисперс.	Стд.откл.	Станд. Ошибка	Асимметрия	Стд.ош. Асимметрия	Экцесс	Стд.ош. Экцесс
Var1	202	30,33787	29,77395	29,09122	31,00000	6128,250	13,30000	44,00000	30,00000	33,00000	28,94693	5,380235	0,378552	-0,913384	0,171084	1,195559	0,340544

Рис. 7. Описові статистики масиву 1-2

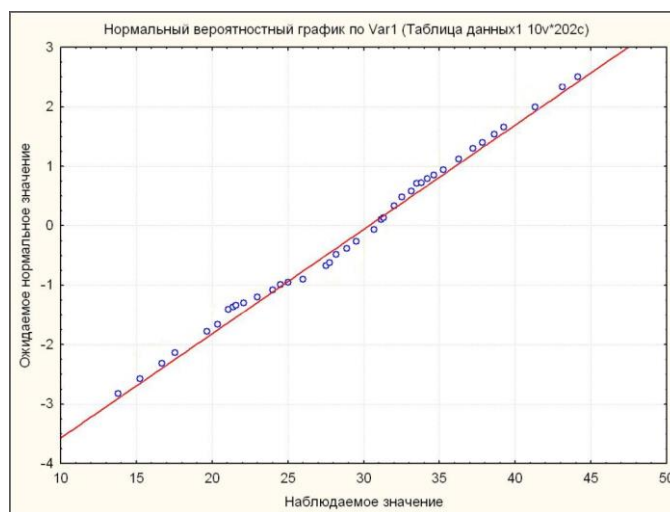


Рис. 8. Нормальний ймовірнісний графік масиву 1-2

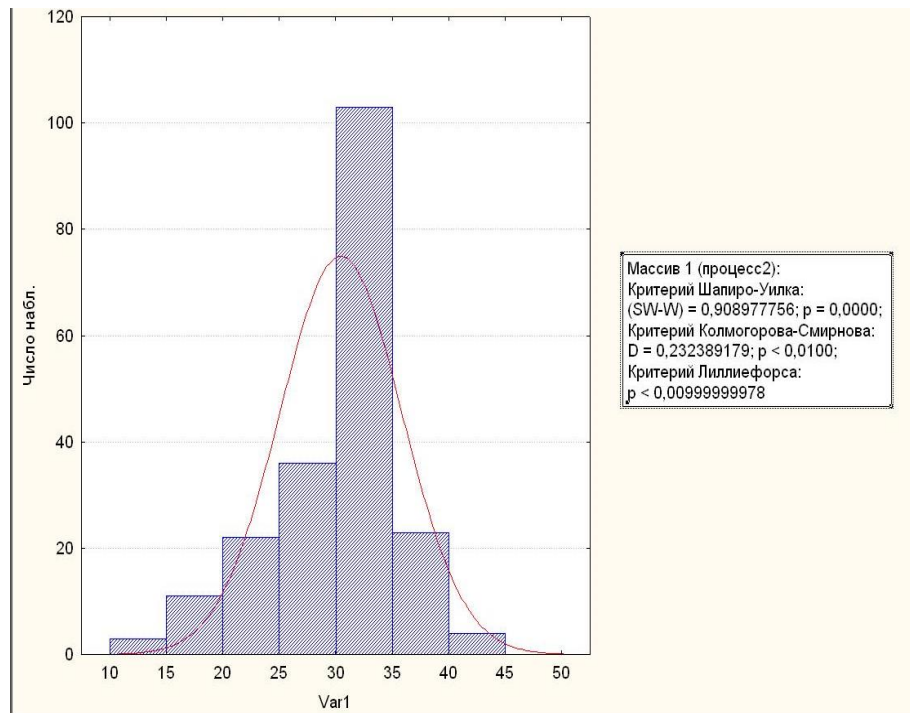


Рис. 9. Гістограма масиву 1-2

Висновки. На сьогодні для підприємства потрібно встановити наскільки допустимим є використання заготовок із дефектами литва (раковини, залишки формувальних матеріалів) тому, що стійкість інструменту при обробці заготовок із дефектами литва знижується до 5-6 разів.

Таким чином можливості інструменту стають значним резервом для підвищення ефективності обробки високомарганцевих сталей, що дозволяє вирішувати ряд технічних і економічних завдань: збільшення швидкості обробки до 70 ... 120 м / хв .; зниження трудомісткості обробки в 2 ... 6 разів; отримання шорсткості оброблюваної поверхні $Ra = 3,2 \dots 1,6$ мкм; виключення використання плазмового підігрівання при обробці; скорочення часу обробки в 3 рази; збільшення продуктивності в 2 рази; поліпшення екології процесу обробки.

Застосування змінних ріжучих пластин з надтвердих матеріалів на основі КНБ дозволяє ефективно вирішити ряд технічних і економічних завдань:

1) Значно збільшити швидкість різання, довівши її до рівня 80-120 м/хв, (тобто мінімум в 10 разів). При цьому трудомісткість обробки знижується в 2-6 разів.

2) Отримати шорсткість оброблюваної поверхні $Ra 3,2 - 1,6$ (рівень шліфування). При цьому дотримується стабільність отриманих геометричних розмірів, що є найважливішим чинником отримання деталей дробарок.

3) При точінні або фрезеруванні високомарганцевих сталей інструментом на основі КНБ (завдяки негативній геометрії передніх кутів) в поверхневому шарі оброблюваного матеріалу глибиною до 50-70 мкм створюється стискаюча напруга, що підвищує експлуатаційні властивості деталі. При високих швидкостях різання ($V=80-120$ м/хв) в поверхневому шарі оброблюваної деталі не відбувається структурних змін, оскільки велика частина тепла поглинається стружкою.

4) Токарна обробка інструментом з КНБ дозволяє виключити застосування плазмового підігріву при обробці броней, що знижує загальні витрати на механічну обробку, зменшує витрати електроенергії, виключає витрати на придбання і ремонт плазмотронів.

5) Застосування різального інструменту, з механічним кріпленням змінних поворотних пластин, дозволяє значно скоротити допоміжний час, куди зокрема входить: зняття інструменту з верстату, заточування інструменту, розмірне підналагодження.

6) Високошвидкісна обробка пластинами з КНБ на порядок знижує зусилля різання, що запобігає передчасному зношуванню дорогих верстатів [9,11].

Список використаних джерел

1. Кіяннівський, М. В. Технологічні методи прискорення виготовлення запасних частин для конусних дробарок [Текст] / М. В. Кіяннівський, Н. І. Цивінда // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Гірничо-електромеханічна : зб. наук. праць. – Донецьк, 2010. – Вип. 18 (172). – С. 170–179.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение [Текст] : в 6 т. / С. А. Клименко, А. А. Виноградов, Ю. А. Муковоз и др. ; под. общ. ред. Н. В.Новикова. – К. : ИСМ им. Бакуля; ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2006. – Т. 5 : Обработка материалов лезвийным инструментом. – 316 с.
3. Стахнів, Н. Е. Моделирование силы резания при стационарном точении [Текст] / Н. Е. Стахнів // Мат. 8-й Международ. науч.-практ. конф. "Качество, стандартизация, контроль: теория и практика", Ялта. 23-26 сент. 2008 г. – К. : АТМ України. 2008. – С. 123–128.
4. Васин, С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании [Текст] / С. А. Васин. – М. : Машиностроение, 2006. – 384 с.
5. Oraby, S. E. Quantitative and Qualitative Evaluation of Surface Roughness-Tool Wear Correlation in Turning Operations [Text] / S. E. Oraby, A. M. Alaskan, E. A. Almehaiei // Kuwait Journal of Science & Engineering (KJSE), An Int. J. of Kuwait University. – 2004. – Vol. 31, Issue 1. – P. 219-244.
6. Jae-Woong, Youn A Study on the Relationships Between Static [Text] / Youn Jae-Woong, Yang MinYang // Dynamic Cutting Force Components and Tool Wear / Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2000. – Vol. 123, Issue 2. – P 196-205.
7. Кіяннівський, М. В. Виробничі дослідження стійкості інструментальних матеріалів при обробці деталей гірничо-металургійного комплексу [Текст] / М. В. Кіяннівський, Н. І. Цивінда // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – Вип. 26. – С. 360–366.
8. Oraby, S. E. Tool Life Determination Based on the Measurement of Wear and Tool Force Ratio Variation [Text] / S. E. Oraby, D. R. Hayhurst //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2004. – Vol. 44, Issues 12-13. – P.1261-1269.
9. Choudhury, S. K. Tool wear measurement in turning using force ratio [Text] / S. K. Choudhury, K. K. Kishore // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2000. – Vol. 40, Issue 6. – P. 899-909.
10. Kiyonovskiy, M. V. Influence of firmness of cutters with plates of polycrystal superhard material (PSHM) on the basis of cubic boron nitride (CBN) for probability of technological operation completion [Text] / M. V. Kiyonovskiy, N. I. Tsyvinda //Metaltallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 1. –P. 70-78.
11. Kiyonovskiy, M. V. The increasing of fixed mining machines resource rates by diagnostic maintenance improving [Text] / M. V. Kiyonovskiy, E. V. Bondar // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 292-297.

Цивінда Н.І., к.т.н., Кіяннівський Н.В., д.т.н., Іванова О. Р. магістрант
ГВУЗ "Криворожский государственный университет" (Кривой Рог, Украина)

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ

Показано влияние качества поверхностей заготовок из труднообрабатываемых материалов (высокомарганцевых сталей) на стойкость высокопродуктивного режущего инструмента из ПСТМ и пути повышения эффективности обработки таких материалов за счет использования впервые установленных закономерностей увеличения в 5-6 раз характеристик стойкости инструмента из ПСТМ путем устранения условий прерывистого резания.

Ключевые слова: *высокомарганцевистые стали, дефекты поверхности заготовки, режущий инструмент, стойкость.*

N.I. Tsyvinda, assistant professor, N.V. Kiyonovsky, professor, Ivanova O. R. master student
Kryvyi Rih National University

INFLUENCE OF QUALITY OF PREPARATIONS ON THE EFFICIENCY OF MECHANICAL TREATMENT OF DETAILS FROM HIGH-MANGANESE STEEL

The influence of the quality of the surfaces of workpieces from difficult-to-cut materials (high-manganese steels) on the durability of a highly productive cutting tool from PSTM and ways to improve the processing efficiency of such materials through the use of established for the first time 5-6 times increase in durability characteristics of a tool from PSTM by eliminating intermittent cutting conditions is shown.

Key words: *high-manganese steels, surface defects of the workpiece, cutting tool, durability.*

Стаття надійшла до редакції 19.11.2018

УДК 681.2.083

Цірук В.Г., к.т.н.

ПАТ «НВО «Київський завод автоматики», м. Київ

АНАЛІЗ СИСТЕМИ УДАРО- І ВІБРОЗАХИСТУ ПІД ЧАС УДАРІВ

Пружні амортизатори широко використовуються в навігаційних системах в складі систем ударо- і віброзахисту. У зв'язку із розвитком систем навігації, до систем ударо- і віброзахисту висуваються вимоги – обмежену амплітуду коливань ізольованого тіла при одиничних ударах високого рівня. У роботі досліджено схему системи ударо- і віброзахисту, яка дає змогу зменшити амплітуду діючих ударних прискорень, містить демпфер сухого тертя і тим самим гарантує експлуатаційну безпеку гіростабілізатора навігаційної системи зі збереженням заданої точності. Отримано уточнену математичну модель системи ударо- і віброзахисту, яка має додаткові члени (сухе тертя, жорсткість амортизаторів, жорсткість пружної випуклої пластини, розміщення амортизаторів і пружної випуклої пластини), які враховують вплив складових частин системи ударо- і віброзахисту на її точність.

Розроблено та досліджено нову систему ударо- і віброзахисту для покращення експлуатаційного захисту гіростабілізатора навігаційної системи від ударів з гарантуванням заданої точності та надано рекомендації щодо застосування математичної моделі.

Ключові слова: дослідження, амортизатор, жорсткість, навігаційні системи, вібрація, удари.

Постановка проблеми. Створення ефективних засобів захисту від вібрацій і ударів є одна із важливих проблем сучасної навігаційної техніки. Особливо велике значення набувають питання віброзахисту в сучасних транспортних об'єктах: літальних апаратах, автомобілях, морських судах.

Оскільки інтенсивність вібрацій і ударів звичайно зростає зі збільшенням швидкості руху, розвиток транспортних засобів супроводжується безупинним підвищенням вимог до віброзахистних пристроїв.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В теорії віброзахистних систем є значна кількість наукових праць, з яких у першу чергу слід зазначити роботи [1, 2] та [3, 4].

У цих працях найбільша увага приділяється розвитку лінійної теорії, заснованої на застосуванні методів класичної теорії малих коливань до дослідження віброзахистних пристроїв.

Лінійна теорія, розроблена як для найпростіших систем з одним ступенем свободи, так і для загального випадку коливань твердого тіла на пружному підвісі, розглядає пружний амортизатор як фільтр низьких частот; задача віброзахисту зводиться при цьому до вибору таких параметрів системи амортизації, при яких її власні частоти виявилися значно нижче частот, що містяться в спектрі зовнішнього впливу.

Водночас у зазначених [3, 4] та інших працях з систем ударо- і віброзахисту, не досліджувався вплив сухого тертя на їх характеристики під час дії ударних навантажень, що найчастіше можуть бути неприпустимо великими і приводити до істотних неточностей приладів аж до виходу їх із ладу.

Застосування пружних амортизаторів є одним із найбільше поширених способів віброзахисту. В даний час існує багато конструктивних різновидів амортизаторів, призначених як для захисту приладів і устаткування, встановлених на основах, що коливаються, так і для захисту основ і фундаментів від динамічних впливів.

Створення амортизуючих пристроїв, здатних захистити об'єкти від вібрацій і ударів та які б мали водночас невеликі розміри, є складною технічною проблемою, правильне рішення якої можливо тільки при всебічному врахуванні характеру збурень і конструктивних властивостей амортизаторів.

У зв'язку з цим актуального значення набувають питання теорії і розрахунку віброзахистних систем.

Метою роботи є дослідження поведінки системи ударо- і віброзахисту гіростабілізатора навігаційної системи від ударів.

Виклад матеріалу дослідження. Припустимо, що блок систем ударо- і віброзахисту на амортизаторах встановлено на платформі ударного стенду. Платформа падає вниз і в початковий момент і торкається демпфера (рис. 1).

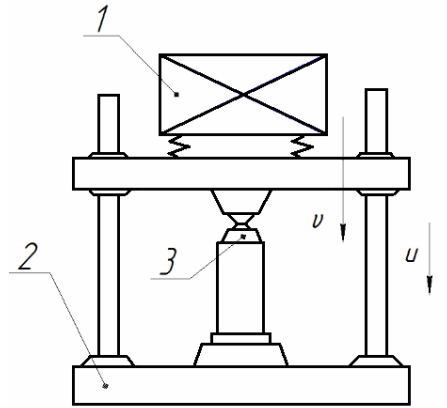


Рис. 1. Випробування блоку системи ударо- і віброзахисту на ударному стенді:
1 — блок; 2 - платформа; 3 – демпфер

Демпфер впливає на платформу з силою гальмування P , яка змінюється по синусоїдальному закону.

Ця сила викликає появу прискорення, що також змінюється за синусоїдальним законом (рис. 2, а):

$$a_k = -H \sin \omega t \quad (1)$$

де ω — умовна частота ударного імпульсу; H - амплітуда прискорення.

Вплив цього прискорення триває протягом половини періоду $T/2$, а далі дія демпфера припиняється.

На практиці таке гальмування зустрічається тоді, коли легка броньована техніка долає деяку перешкоду. Спочатку опір перешкоди зростає, а потім, коли перешкода руйнується, опір падає.

Така перешкода створюється всередині демпфера.

Послідовно інтегруючи, отримуємо вираз для швидкості v (рис. 2,б) і переміщення

$$u_k : v = \frac{H}{\omega} \cos \omega t + C_1, \quad u_k = \frac{H}{\omega^2} \sin \omega t^2 + C_1 t + C_2. \quad (2)$$

З початкових умов (при $t = 0$) $\frac{du_k}{dt} = vk_0$, $u_k = 0$ отримаємо:

$$C_1 = -\frac{H}{\omega} + vk_0, \quad C_2 = 0 \quad (3)$$

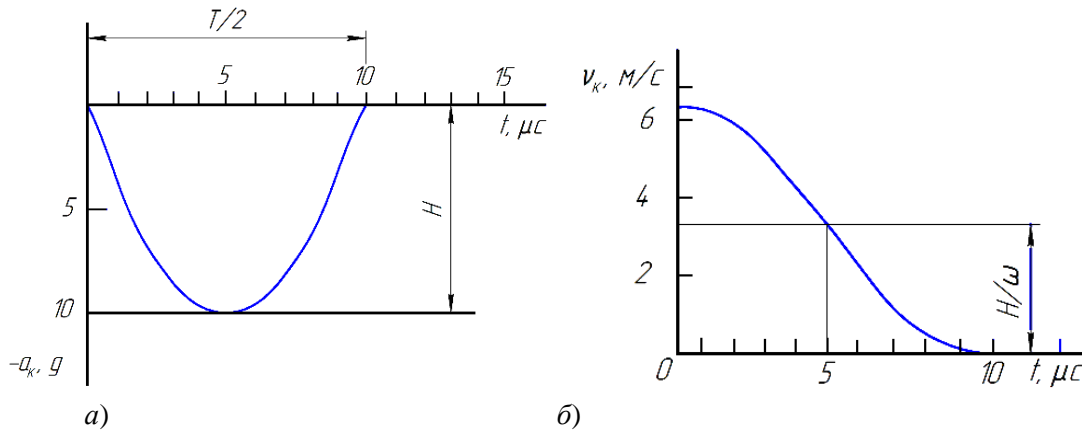


Рис. 2. Залежність прискорення (а) та швидкості (б) блоку систем ударо- і віброзахисту при ударі.

Важливо підібрати початкову швидкість v_{k0} таким чином, щоб після подолання перешкоди рух припинився і платформа зупинилася.

Щоб у нижній точці ($t=T/2$) рух закінчився ($v=0$), має виконуватись співвідношення:

$$u_{k0} = \frac{2H}{\omega} = \frac{HT}{\pi} \quad (4)$$

де, T – повний період ударного імпульсу.

Таким чином, рівняння руху блоку систем ударо- і віброзахисту на амортизаторах при ударі платформи матиме вигляд:

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + cu = c \left(\frac{H}{\omega^2} \sin \omega t + \frac{H}{\omega} t \right) \quad (5)$$

Частковий розв'язок неоднорідного рівняння виходить в тому ж вигляді, що і права частина (5):

$$u_{ch} = \frac{Hc}{\omega^2(c - \omega^2 m)} \sin \omega t + \frac{H}{\omega} t \quad (6)$$

Тоді загальний розв'язок буде мати вигляд:

$$u = C_1 \exp(j\omega_0 t) + C_2 \exp(-j\omega_0 t) + \frac{H}{\omega^2(c - \omega^2 m)} \sin \omega t + \frac{H}{\omega} t \quad (7)$$

Постійні інтегрування визначаються із початкових умов:

$$C_2 = \frac{1}{2j\omega_0} \left[\frac{Hc}{\omega(c - m\omega^2)} - \frac{H}{\omega} \right].$$

При $t = 0, u = 0, du/dt = v_{k0}$, тоді $C_1 = -C_2$

Використовуючи рівняння Ейлера, отримаємо:

$$u = \left[-\frac{H}{\omega\omega_0 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)} + \frac{H}{\omega\omega_0} \right] \sin \omega_0 t + \frac{H}{\omega^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)} \sin \omega t + \frac{H}{\omega} t \quad (8)$$

Таким чином, блок систем ударо- і віброзахисту на амортизаторах після удару платформи об демпфер здійснює складний рух: рух з постійною швидкістю H/ω і два коливальних процеси з власною частотою ω_0 та умовною частотою ударного імпульсу ω .

Оскільки ударний імпульс короткий, а умовна частота ω висока, то $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$.

Враховуючи це рівняння (8) можна спростити:

$$u \approx \frac{H}{\omega\omega_0} \sin \omega_0 t - \frac{H\omega_0^2}{\omega^4} \sin \omega t + \frac{H}{\omega} t \quad (9)$$

до кінця ударного імпульсу ($t = T/2 = \pi/\omega$) переміщення блоку має вигляд:

$$u\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{H}{\omega\omega_0} \sin \omega_0 \frac{T}{2} + \frac{HT}{2\omega} = \frac{H}{\omega\omega_0} \sin \frac{\omega_0}{\omega} \pi + H \frac{\pi}{\omega^2} \quad (10)$$

і відрізняється від переміщення платформи на величину стиснення амортизаторів.

Швидкість блоку в кінці удару дорівнює

$$\frac{d\left(\frac{T}{2}\right)}{dt} = \frac{H}{\omega} \cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + \frac{H\omega_0^2}{\omega^2} + \frac{H}{\omega} \quad (11)$$

Проаналізуємо рух блоку на амортизаторах після удару. Оскільки платформа при цьому буде стояти на місці, це будуть власні коливання.

Тоді знайдемо постійні інтегрування з умов (10) і (11).

Оберемо нову систему відліку, в якій за початок відліку часу оберемо момент закінчення руху платформи, і новий початок відліку переміщення - нижнє положення блоку системи ударо- і віброзахисту.

Для нової змінної \tilde{u} , яка описує рух блоку в новій системі відліку, початкові умови будуть мати наступний вигляд: при $i = 0$, $\tilde{u}=0$, а швидкість залишиться у вигляді (12).

При таких початкових умовах розв'язок для власних коливань у новій системі відліку представляється виразом:

$$\tilde{u} = H \left[\frac{1}{\omega\omega_0} \cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + \frac{\omega_0}{\omega^2} + \frac{1}{\omega\omega_0} \right] \sin \omega_0 t, \quad (12)$$

а прискорення має вигляд:

$$\tilde{a} = \frac{d^2 \tilde{u}}{dt^2} = H \left[\frac{\omega_0}{\omega} \cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + \frac{\omega_0^2}{\omega^2} + \frac{\omega_0}{\omega} \right] \sin \omega_0 t. \quad (13)$$

Порівнюючи амплітуду прискорення блоку з амплітудою прискорення платформи, отримуємо, що амплітуда блоку буде меншою. Їх відношення з урахуванням того, що $\omega_0 \ll \omega$ і $\cos\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)\pi \approx 1$ виходить рівним

$$\beta = \frac{\tilde{a}_{\max}}{H} = \frac{2\omega_0}{\omega} \quad (14)$$

У розрахунках не було враховано згасання коливань блоку систем ударо- і віброзахисту на амортизаторах. Загасання коливань відбувається внаслідок втрат механічної енергії і переходу її у теплову. Ці втрати обумовлені різними видами тертя.

Наприклад, при коливаннях пружинного маятника у вакуумі загасання коливань відбувається лише за рахунок втрат енергії у матеріалі пружини на внутрішнє тертя. При русі в повітрі до цих втрат додаються втрати на тертя об повітря.

Гасіння коливань за допомогою в'язкого тертя називають демпфуванням, а пристрої для гасіння вібрації - демпферами. Добре відомі демпфери з в'язкою рідиною - зазвичай маслом. Такі демпфери часто застосовуються у транспортних засобах (в т.ч. легкої броньованої техніки).

При русі поршня у них в'язка рідина перетікає з однієї частини циліндра в іншу через отвір у поршні і гальмує рух поршня. Дію таких демпферів доводиться враховувати при розрахунках вібрацій комплексу стабілізації, який встановлюється на систем ударо- і віброзахисту легкої броньованої техніки.

Безпосередньо в систем ударо- і віброзахисту часто застосовуються повітряні демпфери, в яких використовується гальмівна дія повітря. Роль демпфера виконує гумова порожнина, наповнена повітрям. При коливаннях обсяг порожнини змінюється. Повітря частково стискається і розширюється, а частково перетікає у верхню частину порожнини і назад.

У результаті виникає опір руху, пропорційний швидкості руху.

При графічному зображенні розрахункових моделей з в'язким тертям демпфер зображується у вигляді циліндра з поршнем μ .

Сила опору пропорційна швидкості:

$$F_\beta = -\mu \frac{du}{dt} \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт в'язкості демпфера.

В окремому випадку пружинного маятника при використанні моделі Фохта μ – коефіцієнт в'язкості матеріалу пружини.

Розглянемо задачу про власні коливання пружинного маятника з втратами енергії у пружині у вигляді в'язкості.

Рівняння коливання набуде вигляду:

$$-cu - \mu \frac{du}{dt} = m \frac{d^2 u}{dt^2} \quad (16)$$

Знайдемо розв'язок рівняння у вигляді синусоїди, амплітуда якої експоненціально спадає у часі:

$$u = \exp(-\eta t)(A \sin \omega t + B \cos \omega t) \quad (17)$$

Підставимо розв'язок (16) у рівняння (17).

Після скорочення на $\exp(-\eta t)$ отримаємо:

$$c(A \sin \omega t + B \cos \omega t) - \mu \eta (A \sin \omega t + B \cos \omega t) + m \omega (A \cos \omega t - B \sin \omega t) + m \eta^2 (A \sin \omega t + B \cos \omega t) - 2m \eta \omega (A \cos \omega t - B \sin \omega t) - m \omega^2 (A \sin \omega t + B \cos \omega t) = 0 \quad (18)$$

Щоб виконувалась рівність (18), необхідно виконати дві умови:

$$c - \mu \eta + m \eta^2 - m \omega^2 = 0 \quad \mu - 2m \eta = 0 \quad (19)$$

З другого рівняння отримаємо:

$$\eta = \mu / 2m \quad (20)$$

Підставивши (20) у (19), отримаємо:

$$c - \frac{\mu^2}{2m} + \frac{\mu^2}{4m} - m \omega^2 = 0 \quad (21)$$

Звідси $\omega^2 = \frac{c}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}$, $\omega = \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}}$, або $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \eta^2}$ (22), де ω_0 – частота власних

коливань при $\eta=0$.

Таким чином при наявності в'язкості частота власних коливань дещо зменшується. Загальний розв'язок (16) матиме вигляд:

$$u = \exp\left(-\frac{\mu t}{2m}\right) \left(A \sin t \sqrt{\omega_0^2 - \eta^2} + B \cos t \sqrt{\omega_0^2 - \eta^2} \right) \quad (23)$$

Постійні A і B визначаються з початкових умов.

Важливим є те, що амплітуда коливань експоненціальна і спадає.

Через період коливань T амплітуда зменшується у $\exp(\mu\pi/m\omega)$ разів.

Ця величина залежить від часу, тобто у всьому процесі коливань відношення двох сусідніх амплітуд є величиною постійною.

Натуральний логарифм цієї величини називається логарифмічним декрементом затухання коливань:

$$\delta = \frac{\mu\pi}{m\omega} = \frac{\mu\pi}{\sqrt{c - \frac{\mu^2}{2m}}} \approx \frac{\mu\pi}{\sqrt{c}} \quad (24)$$

Зазвичай $\eta^2 \ll \omega_0^2$. Однак, якщо коефіцієнт в'язкості настільки великий, що під коренем у виразі (21) виходить уявна величина, тобто $\frac{\mu^2}{4m^2} > \frac{c}{m}$, то коливання «зриваються» і блок із початкового положення по експоненті наближається до стану рівноваги з однієї сторони, не проходячи через нього.

Втрати енергії на внутрішнє тертя призводять до того, що при резонансі амплітуда коливань не зростає до нескінченності, а стабілізується на якомусь рівні.

У загальному вигляді рівняння, що описує коливання системи з одним ступенем свободи з урахуванням в'язкого тертя при заданому збуренні u_k вібростенда, записується наступним чином:

$$c(u_k - u) - \mu \frac{du}{dt} = m \frac{d^2u}{dt^2} \quad (25)$$

Розглянемо розв'язок рівняння (25) для випадку, коли збурення задано синусоїдальним законом. У цьому випадку рівняння має вигляд:

$$m \frac{d^2u}{dt^2} + \mu \frac{du}{dt} + cu = cU_k \sin \omega t \quad (26)$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння (26), як згадувалось вище, складається із загального розв'язку однорідного рівняння і часткового розв'язку неоднорідного рівняння.

Загальний розв'язок будемо шукати у вигляді:

$$u_{об} = C_1 \exp \alpha_1 t + C_2 \exp \alpha_2 t \quad (27)$$

де α_1, α_2 - корінні характеристичного рівняння

$$m\alpha^2 + \mu\alpha + c = 0 \quad (28)$$

C_1, C_2 - постійні інтегрування, які визначаються з початкових умов.

З (28) отримуємо $\alpha_1 = -\beta + i\omega$, $\alpha_2 = -\beta - j\omega$, де $\beta = \mu/2m$; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - частота власних коливань з врахуванням в'язкості.

Тоді:

$$u_{об} = \exp(-\beta t)(C_1 \exp(j\omega t)) + C_2 \exp(-j\omega t) \quad (29)$$

Частковий розв'язок неординарного рівняння шукаємо у вигляді

$$u_{ч} = A \sin \omega_{\kappa} t + B \cos \omega_{\kappa} t \quad (30)$$

Постійні A та B визначаємо, підставляючи (31) у (27), після чого отримуємо два рівняння:

$$-mA\omega_{\kappa}^2 - \mu B\omega_{\kappa} + cA = cU_{\kappa} \quad -m\omega_{\kappa}^2 B + \mu A\omega_{\kappa} + cB = 0$$

розв'язуючи які, знаходимо:

$$A = \frac{cU_{\kappa}(c - m\omega_{\kappa}^2)}{(c - m\omega_{\kappa}^2)^2 + \mu^2 \omega_{\kappa}^2}, \quad (31)$$

$$B = -\frac{\mu\omega_{\kappa}cU_{\kappa}}{(c - m\omega_{\kappa}^2)^2 + \mu^2 \omega_{\kappa}^2}. \quad (32)$$

У кінцевому результаті отримуємо загальний розв'язок у вигляді

$$u = \exp(-\beta t)(C_1 \exp(j\omega t) + C_2 \exp(-j\omega t)) + A \sin \omega_{\kappa} t + B \cos \omega_{\kappa} t$$

або після перетворення

$$u = \exp(-\beta t)(C_1 \exp(j\omega t) + C_2 \exp(-j\omega t)) + U_{\kappa} \sin(\omega_{\kappa} t + \phi) \quad (33)$$

$$\text{де кут зсуву фази } \phi = \arctg \frac{B}{A} = \arctg(-\mu\omega_{\kappa} / m(\omega_0^2 - \omega_{\kappa}^2)) \quad (34)$$

$$U = \sqrt{A^2 + B^2} = U_{\kappa} / \sqrt{1 / (1 - \omega_{\kappa}^2 / \omega_0^2)^2 + 4\beta\omega_{\kappa}^2 / \omega_0^4} \quad (35)$$

$\omega_0^2 = c/m$ - власна частота коливань без врахування в'язкості.

Величина:

$$x = \frac{U}{U_{\kappa}} = \sqrt{1 / \left[\left(1 - \frac{\omega_{\kappa}^2}{\omega_0^2} \right)^2 + \frac{4\beta\omega_{\kappa}^2}{\omega_0^4} \right]} \quad (36)$$

x - характеризує залежність амплітуди вимушених коливань маси від співвідношення частот.

Приведені розрахунки дозволяють вибирати параметри амортизаторів при проектуванні нових систем ударо- і віброзахисту.

Проведений аналіз показав, що параметри демпферів варто вибирати, виходячи із умови мінімальної жорсткості і забезпечення тривалості гасіння коливань при максимальній деформації.

Висновки. У результаті проведених досліджень з розробки теорії та принципів побудови системи ударо- і віброзахисту нового типу виконано аналіз та оцінку похибок системи.

Встановлено, залежність статичного перекосу системи ударо- і віброзахисту, за рахунок зсуву центру ваги відносно центру жорсткості систем ударо- і віброзахисту,

Отримана уточнена математична модель системи, у якій введені члени (сухе тертя, жорсткість амортизаторів, жорсткість пружної випуклої пластини, розміщення амортизаторів і пружної випуклої пластини), що враховують вплив складових частин системи на якість удоро- і віброзахисту. Запропонована система віброзахисту глушить віброприскорення у 1,7 рази.

Література:

1. Bezvesilna O. Introducing the principle of constructing an aviation gravimetric system with any type of gravimeter / O. Bezvesilna, A.Tkachuk, T. Khylichenko, S. Nechai// EastemEuropean Journal of Enterprise Technologies. - 2017. - №1/7 (85). - P.45-56.

2. Bezvesilna O. Two-channel MEMS gravimeter of the automated aircraft gravimetric system / O. Bezvesilna, A.Tkachuk, T. Khylichenko, M. Kachniarz, I. Korobiichuk// Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2017. - №543. - P.481-487.

3. Ильинский В. С. Вопросы изоляции и ударов / В. С. Ильинский. – Москва: Советское радио, 1960. – 260 с.

4. Ильинский В. С. Защитааппаратов от динамическихвоздействий / В. С. Ильинский. – Москва: Энергия, 1970. – 320 с.

5. БезвесільнаО.М. Розрахунок пружного модуля системи ударо- і віброзахисту стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, Ю.В. Киричук // Вісник інженерної академії наук України. - 2016. - №2. - С. 51-57.

6. Безвесільна О.М. Алгоритмічний метод підвищення точності вимірювачів лінійних прискорень стабілізатора / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, О.В. Кравцов, М.П. Туленко // Вісник інженерної академії наук України. - 2016. - №2. - С. 58-63

7. Безвесільна О.М. Розробка нового методу визначення параметрів налаштування регулятора для керування об'єктами високих порядків / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, С.С. Свістельник, М.В. Богдановський // Вісник інженерної академії наук України. - 2016. - №3. - С. 41-47.

Цирук В.Г. к.т.н.

ПАТ «НВО «Киевский завод автоматики» г. Киев

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УДАРО- И ВИБРОЗАЩИТЫ ПРИ УДАРЕ

Упругие амортизаторы широко используются в навигационных системах в составе систем ударо- и виброзащиты. В связи с развитием систем навигации, к системам ударо- и виброзащиты выдвигаются требования – ограниченная амплитуда колебаний изолированного тела при единичных ударах высокого уровня. В работе исследована схема системы ударо- и виброзащиты, которая позволяет уменьшить амплитуду действующих ударных ускорений, содержит демпфер сухого трения и тем самым гарантирует эксплуатационную безопасность гиросtabilизатора навигационной системы с сохранением заданной точности. Получено уточненную математическую модель системы ударо- и виброзащиты, которая имеет дополнительные члены (сухое трение, жесткость амортизаторов, жесткость упругой выпуклой пластины, размещенные амортизаторы и упругой выпуклой пластины), которые учитывают влияние составных частей системы ударо- и виброзащиты на ее точность.

Разработано и исследовано новую систему ударо- и виброзащиты для улучшения эксплуатационной защиты гиросtabilизатора навигационной системы от ударов с обеспечением заданной точности и даны рекомендации по применению математической модели.

Ключевые слова: исследование, амортизатор, жесткость, навигационные системы, вибрация, удары.

Tsiruk V., Ph.D.

PJSC "NPO" Kiev automatics plant"

RESEARCH OF CONDUCT OF THE SYSTEM OF SHOCK AND VIBRATION PROTECTION SYSTEMS AFTER DAMAGES

Elastic shock absorbers are widely used in navigation systems as part of impact and vibration protection systems. In connection with the development of navigation systems, the systems of impact and vibration protection put forward the requirements - a limited amplitude of oscillations of the isolated body with single high-level blows. The scheme of shock and vibration protection system is investigated, which allows to reduce the amplitude of the existing shock accelerations, contains a dry friction damper, and thus guarantees operational safety of the gyrostabilizer of the navigation system with the preservation of the given accuracy. The refined mathematical model of impact and vibration protection system, which has additional members (dry friction, rigidity of shock absorbers, rigidity of an elastic convex plate, placement of shock absorbers and elastic convex plate), takes into account the influence of the components of the impact and vibration protection system on its accuracy.

A new system of shock and vibration protection was developed and investigated to improve the operational protection of the gyrostabilizer (further to the body) from impacts with the guarantee of given accuracy and provided recommendations for the application of the mathematical model.

Keywords: research, shock absorber, rigidity, navigation systems, vibration, impact.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2018

УДК 621.74

¹Чернета О. Г., к.т.н., ¹Сухомлін В. І. к.т.н., ² Волощук Р. Г., ¹Губарев С. В. к.т.н.¹Дніпровський державний технічний університет.²Публічне акціонерне товариство «Дніпро-Азот»

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ВІДНОВЛЕННОГО ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ СТАЛІ 45 ПІСЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ЛАЗЕРНИМ БОРУВАННЯМ

В роботі досліджені мікроструктури поверхневого шару деталей із сталі 45, що відновленні шляхом наплавлення електродами ОЗШ-3 і зміцненні лазерним боруванням. Проведений аналіз структуроутворення пошарових зон від робочої поверхні до основного металу, а також зроблені вимірювання мікротвердості дослідних поверхонь. Проведені рентгеноструктурні дослідження відповідних зон для визначення фаз, а також наявності карбідів, боридів та інших складових, що безпосередньо впливають на фізико-механічні властивості робочих поверхонь. За результати проведених досліджень на відповідних зразках деталей із сталі 45 з напавленою поверхнею електродами ОЗШ-3 отримані зображення мікроструктур при різних збільшеннях робочих поверхонь, приведені таблиці і графіки розподілу мікротвердості поверхневого шару деталі. Представлені результати доводять про доцільність використання розроблених технологій відновлення і зміцнення широкого спектру деталей із сталі 45 у машинобудуванні.

Ключові слова: відновлення деталей, зносостійкість, лазерна обробка, мікроструктура металографічні дослідження, робоча поверхня.

Постановка проблеми. Збільшення потужності, циклічності, швидкісних режимів при виробництві і експлуатації сучасних автомобілів вимагає застосування нових матеріалів, покриттів і технологій відновлення і зміцнення поверхневого шару контактуючих поверхонь. Це зумовлює підвищення вимог до деталей, що працюють в тяжких умовах експлуатації. При масовому виробництві сучасних автомобілів спостерігається використання легованих і високолегованих сталей, що суттєво підвищує собівартість матеріалу, його обробку, ускладнює технологічні процеси виготовлення деталей.

Дослідження провідних фахівців [1-3] доводить, що в конструкціях сучасних автомобілів перспективним є подальше використання деталей із сталі 45. При відповідних способах обробки поверхневого шару можливо підвищити в 3-4 рази зносостійкість і корозійну стійкість деталей за рахунок модифікації їх поверхневого шару і трансформації мікроструктури, суттєво підвищити ресурс деталей, знизити собівартість виготовлення деталей, витрати коштовних матеріалів при збереженні якісних і фізико-механічних характеристик, показників надійності, довговічності і зносостійкості.

Комплексне вирішення проблем формування поверхневого шару деталей автомобілів недостатньо досліджене і потребує суттєвого допрацювання.

Метою роботи є дослідження процесів модифікації робочих поверхневих шарів деталей автомобілів, їх відновлення і зміцнення.

Зношення сталевих деталей двигуна припустимо з мінімальним допуском, а збільшення терміну служби кулачка досягається за рахунок створення зносостійкого поверхневого шару. Однією з важливих особливостей поверхневого зміцнення є збереження якості основної маси металу, яка також розігрівається разом з поверхневим шаром.

Для кулачка головного валу основним процесом при гартуванні є нагрівання поверхні до температури утворення аустеніту структура. При цьому вуглець існує як твердий розчин вуглецю в гама залізі. Потім відбувається над охолодження до температури, при якій не утворюється стійкий стан перліту з ферритом або цементитом, а утворюється над міцний, пересичений твердий розчин вуглецю в α - залізі, відомий як мартенсит. Необхідна швидкість охолодження залежить від складу сталі і має значення порядку 300 - 400⁰С до тих пір, поки температура не досягне позначки приблизно 250⁰С. Для отримання зазначеної швидкості охолодження застосовують охолоджуючі рідини.

При лазерному загартуванні кількості енергії, вкладеної в метал, є достатнім для над швидкого поверхневого нагріву, а маса металу кулачка залишається холодною. В цьому випадку нагріта поверхня буде охолоджуватися за рахунок відводу тепла в глибину металу з досить високою швидкістю.

Для гарту кулачка зі сталі 18 ХГТ, застосується гарт при температурі 780 - 800 °С з наступним охолодженням [1-3]. Лазерний промінь діаметром 5 мм, переміщається по поверхні зі швидкістю 1,4 м / хв при використанні безперервного CO₂ – лазера з потужністю 2,8 кВт. При такій обробці поверхневий шар в результаті подвійного проходу променю CO₂ - лазера став у три рази товще. Температурну обробку кулачка здійснювали в різних середовищах (вода, повітря, різні гази) [1-3]. Більш висока зміцнення стали має місце при її обробці в рідких середовищах.

При впливі імпульсного випромінювання на шліфувальну поверхню кулачка виникає вузька зона розплавленого металу, мікротвердість якої відмінна від мікротвердості основного металу. На поверхні мікротвердість становить $H_{50} = 350$, збільшується в глиб об'єма матеріалу, досягаючи $H_{50} = 450$. У зоні термічного впливу мікротвердість збільшується до $H_{50} = 45 \div 500$ і зменшується далі в глиб металу до $H_{50} = 158$, а потім мікротвердість повертається до початкового значення. Повний цикл термообробки здійснюється за 1 - 2 с. Максимальна глибина зміцненої лазером зони 1 - 2 мм. Такий глибини достатньо для підвищення зносостійкості, міцності і втомної опірності.

Звичайні методи загартування, такі як поверхнева гарт, часто викликають деформацію форми металу, що необоротно псує виріб або вимагає великих витрат на доведення.

Результати досліджень [1-3] сплавів на основі заліза після обробки рухомим променем потужних лазерів на CO₂. Досліджували зразки із сталей 20, 45, У8, У12 після обробки їх променем лазера на CO₂ з потужністю випромінювання до 1 кВт. Швидкість переміщення зразків змінювалася в діапазоні 0,4 - 0,6 м / хв. Щільність потоку в зоні обробки змінювалася в межах $5 \cdot 10^3 \cdot 10^5$ Вт / см². Області обробки складаються з чітко виражених шарів, що відрізняються один від одного ступенем повноти фазових перетворень.

У першому шарі температура стали перевищує верхню критичну точку A_{c3} або A_{cm} для доевтектоїдних і заевтектоїдних сталей, відповідно перевищувала температуру плавлення сталі. Мікроструктура цього шару - мартенсит.

Другий шар відповідає нагріву в межкритическом інтервалі температур, що сприяє неповному гарту. Для доевтектоїдних сталей, внаслідок збереження феритних зерен, маємо знижену твердість в порівнянні з першим шаром. Для заевтектоїдних сталей твердість другого шару вище, ніж першого. Це пояснюють присутністю цементиту в високодисперсному вигляді, який додатково зміцнює сталь. Твердість у зоні обробки сталі 20 сягає 7500 МПа при переміщенні зразків з $v = 0,6 - 1,8$ м / хв, чого не можна досягти звичайної загартуванням. При цьому глибина зони зміцнення дорівнює 500 мкм.

У зразках зі сталі У12 в другій зоні [1-3], зоні термічного впливу, спостерігається неоднорідність структури, що підтверджується пертином ділянок, розташованих на місці сітки вторинного цементиту. Зазначені ділянки характеризуються збільшеною кількістю аустеніту. Аналіз кривих розподілу твердості в зразках з сталі У12 показує, що мінімальній швидкості переміщення зразка твердості першого і другого шарів зони близькі, тоді як при більш високих швидкостях твердість другого шару помітно вище. Ця обставина визначається більш рівномірним розподілом вуглецю в аустеніт за більш тривалий час лазерного нагріву. Твердість мартенситу при змісті вуглецю до 0,6% лінійно залежить від останнього і практично не залежить від нього при великій кількості вуглецю в сталі.

Досліджували зразки зі сталі 35 із вихідною ферритно-перлітною структурою. Після впливу випромінювання лазера на CO₂ обробка супроводжується оплавленням поверхні до швидкості 2,4 м / хв, а при швидкостях переміщення зразків $\sim 2,6$ м / хв і більше оплавлення не спостерігається [1-3]. Зона лазерного впливу при швидкостях переміщення зразків 0,6-1,8 м / хв складається з чотирьох шарів. Перший, оплавлений шар характеризується зниженою пластичністю з мікротвердістю $H_m = 8000$ МПа, що перевищує твердість стали в початковому стані в 4 рази. Мікроструктура цього шару є мартенсит і деяку кількість залишкового аустеніту. У другому шарі мікроструктура - мартенсит з голками розміром в 2 - 4 рази більшим, ніж в першому. Третій шар - зона не повною гарту зі структурою з мартенситу, трооститу, фериту. Четвертий шар також є зоною неповної гарту, проте відрізняється від третього повною відсутністю троостита, наявністю ферритної сітки і більш високу твердість.

В наслідок різних умов нагріву і охолодження спостерігаються відмінності в структурі і твердості шарів зони в сталі 35, що оброблена безперервним випромінюванням лазера на CO₂.

При опроміненні маловуглецевої сталі в зоні впливу спостерігається грубозерниста відманштетовий структура, а мікротвердість істотно не відрізняється від вихідної.

У зразках зі сталі 45 з вихідною структурою, що складається з перлітних зерен з феритних прошарками, внаслідок тривалого впливу безперервного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 10,5$ мкм утворився разом із шлаковим, шар розплавленого і пористого металу товщиною до ~ 75 мкм. Цей шар і прилеглі до нього ділянки сталі істотно збіднені вуглецем. У структурі сталі спостерігається мартенсит, кількість якого збільшується з видаленням від кратера. На глибині 300 - 400 мкм розташований щільний загартований шар.

У попередньо загартованих зразках зі сталі 45 утворюється шар товщиною ~ 400 мкм, що складається з безвуглецевої зони на поверхні і вдруге загартованої всередині, причому тут мартенсит більш мілко гольчастий, ніж в матриці. Далі розташовується зона відпустки з продуктами розпаду мартенситу.

Структурні зміни в зразках з нормалізованої і попередньо загартованої сталі У8 багато в чому аналогічні змінам структури в зразках зі сталі 45 з тією лише відмінністю, що в попередньо загартованої сталі У8 в зоні гарту, що примикає до розплаву спостерігається значне роз'ятрювання кордонів зерен. Відзначимо, що в зневуглецьованих зонах має місце знеміцнення. Так в сталі У8 твердість у цих зонах приблизно в 2 рази менше, ніж у вихідній структурі.

У зразках зі сталі ХВГ структурні зміни подібні до змін у зразках зі сталі У8, з тією лише різницею, що в загартованому шарі, як і в загартованій матриці, спостерігаються періоди округлої форми. Також чітко видно стовбчата структура раніше розплавленого шару[1-3].

На рис. 1. приведені мікроструктури із сталі 45 з наплавленою поверхнею електродами ОЗШ-3 з наступним хімічним складом (С - 0,4%; Мп - 0,5%; Si - 1,9%; Cr - 9,9%; S - 0,013%; Р - 0,021%) після лазерного борування, що одержані за допомогою оптичного мікроскопу «Неофот 32».

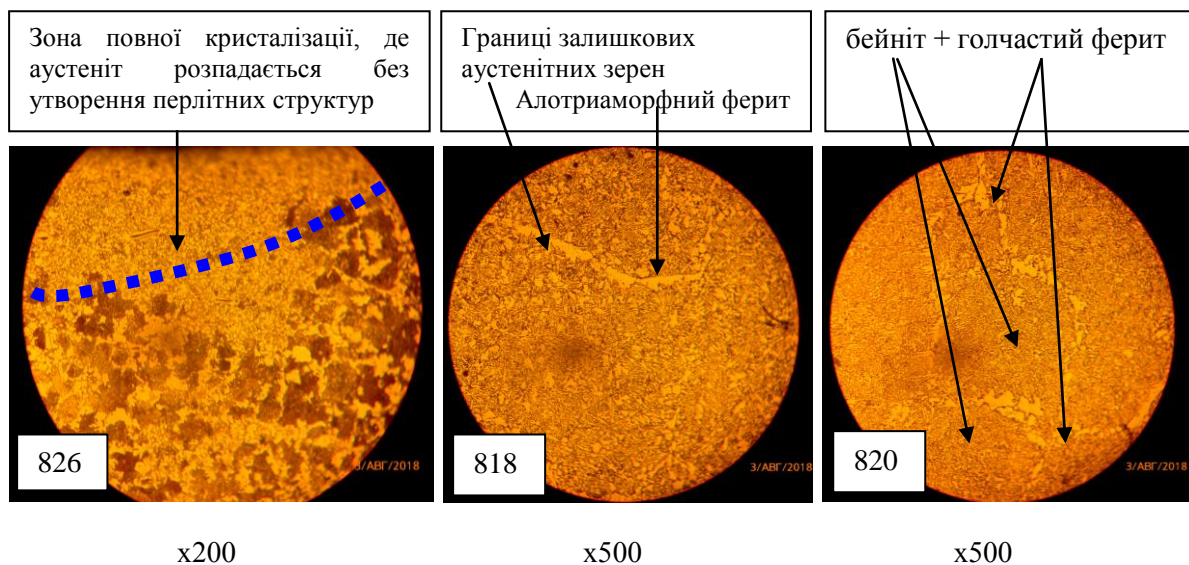


Рис.1. Мікроструктури кулачка із сталі 45 з наплавленою поверхнею електродами ОЗШ-3 після лазерного борування.

На зразку №826 – на глибині до 150 мкм в результаті перекристалізації чітко спостерігається зона лазерного впливу – область повної кристалізації, де аустеніт розпадається без утворення перлітних структур. Область поверхневого шару 30-100 мкм відповідає структурі безструктурного мартенситу – гарденіту. Структура цієї зони мілко дрібна і щільна. Виявити особливості цієї структури можливо тільки при травленні спеціальними розчинами і при використанні растрових мікроскопів з збільшенням $1-2 \times 10^3$ крат.

На зразку №818 на глибині 20-50 мкм від поверхні можна спостерігати структуру верхнього бейніту з розміром феритних зерен по границям аустенітних зерен збагаченим вуглецем, де реалізується механізм утворення бейніту.

Для зразка №820 характерна структура голчастого фериту і бейніту при відсутності карбідних часток. Нижче область наплавлення і як наслідок реалізація механізму бейнітного розпаду.

За допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-106И на зразках №901(рис.2) спостерігаються частинки боридів при збільшенні $\times 2000$ крат розміром $0,2-0,4$ мкм на відстані 2 мкм одна від одної. Нижче область бейнітного розпаду. На рис.2 №902 спостерігаються при збільшенні $\times 1000$ спостерігаються на глибині $50-60$ мкм мартенситні утворення (25 мкм) і зерна фериту ($15-30$ мкм) з виділеннями на границях зерен часток боридів.

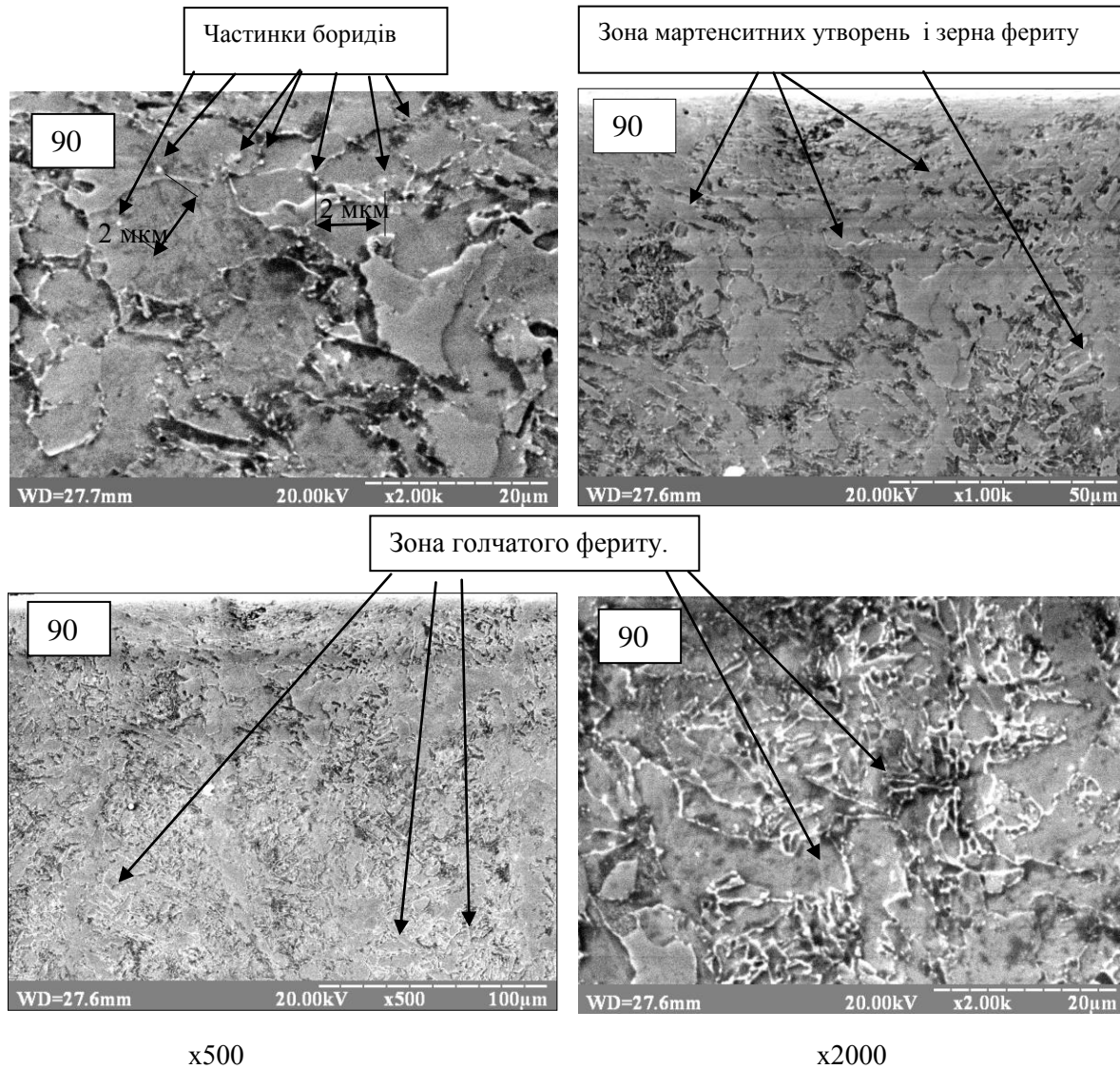


Рис.2. Мікроструктури зразків, що зроблені за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-106И

У нижніх зонах фотографій спостерігаються структури відпуску - голчастий ферит, що виділяється з твердого розчину. Мартенситні утворення в цій зоні не виявлені, а спостерігається дисперсний перліт – результат перекристалізації.

Результати вимірів мікротвердості робочих поверхней кулачка ДВЗ приведені на рис. 3, де в порівнянні з традиційною обробкою кулачків СВЧ приведені виміри з відновлених поверхней після лазерної обробки і лазерного борування. Високі показники мікротвердості поверхневого шару після лазерної обробки і лазерного борування обумовлено наявністю на робочій поверхні надтвердого шару зі структурою гарденіту (безструктурного мартенситу – 20 мкм). У випадку з лазерним боруванням в надтвердому шарі гарденіту присутні також надтверді утворення боридів і карбідів хрому, які і сприяють утворенню надтвердого зносостійкого шару. По мірі проникнення в глибину поверхневого шару різко зменшується концентрація і наявність надтвердих утворень (боридів, карбідів), відповідно і знижується і мікротвердість підшарового і основного металу.

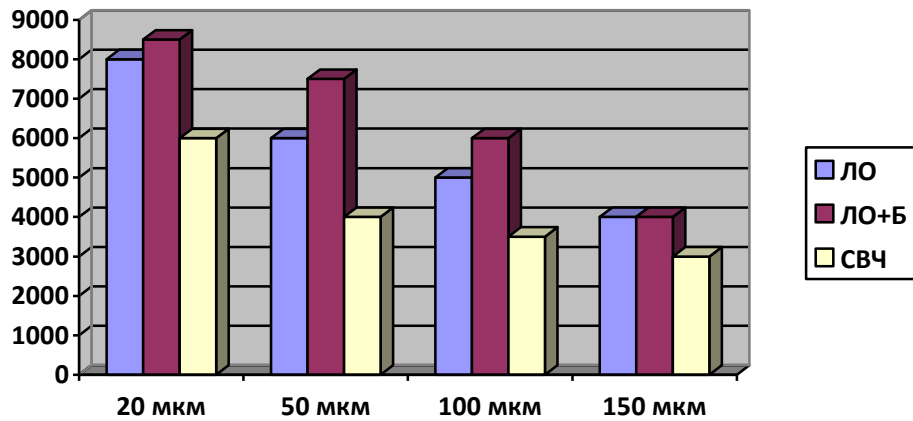


Рис.3. Результати вимірів мікротвердості робочих поверхней кулачка

Рентгенофазовий аналіз проводили на рентгеновском дифрактометрі ДРОН-2 [4] в монохроматизованому Со-Ка випромінюванні ($a=1.7902\text{Å}$). Ідентифікація з'єднаних (фаз) проводили шляхом порівняння міжплоскістних відстаней ($d, \text{Å}$) і відносних інтенсивностей ($I_{\text{отн}}/I_0$) до експериментальної кривої з даними електронної картотеки PCPDFWIN [5].

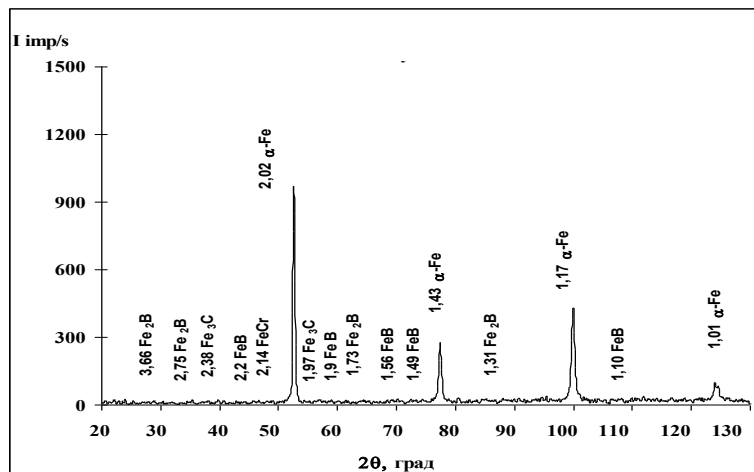


Рис.4. Рентгенівська дифрактограма зразка №3 після лазерного борування у Со-Ка випромінюванні.

Основні лінії (рис.4), які спостерігаються на рентгенівській дифрактограмі зразка №3 – це $\alpha\text{-Fe}$, що за інтенсивністю складають понад 90%. Лінії боридів Fe_2B , FeB менш інтенсивні (до 4%), а також в невеликій кількості (до 3%) спостерігаються карбіди заліза Fe_3C і сполуки FeCr . Наявність останнього обумовлена складом поверхневого шару, де на зношену поверхню після наплавлення електродами ОЗШ-3 були перенесені складові металевому шару з вмістом Cr (0,2%).

Висновки. Для відновлення деталей автомобіля розроблена технологія наплавлення робочого шару електродами ОЗШ-3 з наступною лазерною обробкою і лазерним боруванням. Мікротвердість поверхневого шару підвищується в рази після лазерної обробки і лазерного борування внаслідок утворення в поверхневому шарі надтвердих утворень, що забезпечують високі фізико-механічні, міцні і зносостійкі характеристики.

Інформаційні джерела

1. Промислове застосування лазерів - Г. Кебнера, Москва, «Машинобудування», 1988 г. - 280 с.
2. Застосування лазерів в машинобудуванні і приладобудуванні. К.І. Крилов, В.Г. Прокопенко, А.С. Митрофанов, Ленінград, «Машинобудування», 1978 г. - 336 с.

3. Лазерна обробка матеріалів. І.М. Рокалої, А.А. Ужов, А.Н. Кокора, Москва «Машинобудування», 1975 г. - 296 с.
4. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М. : МИСИС, 1994. – 328 с.
5. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Миркин Л.И. - М. : Физ. - мат. лит, 1961. – 864 с.

¹Чернета О.Г., к.т.н., ¹Сухомлин В.И. к.т.н., ²Волощук Р.Г., ¹Губарев С.В. к.т.н.

¹Днепровський державний технічний університет.

²Публічне акціонерне товариство «Днепр-Азот»

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВОСТАНОВЛЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ БОРИРОВАНИЕМ

В работе исследованы микроструктуры поверхностного слоя деталей из стали 45, восстановленные путем наплавки электродами ОЗШ-3 и упрочненные путем лазерного борирования. Проведен анализ структурообразования послойных зон от рабочей поверхности до основного металла, а также сделаны измерения микротвердости исследуемых поверхностей. Проведены рентгеноструктурные исследования соответствующих зон для определения фаз, а также наличия карбидов, боридов и других составляющих, которые непосредственно влияют на физико-механические свойства рабочих поверхностей. По результатам проведенных исследований на соответствующих образцах деталей из стали 45 с наплавленной поверхностью электродами ОЗШ-3 получены изображения микроструктур при различных увеличениях рабочих поверхностей, приведены таблицы и графики распределения микротвердости поверхностного слоя детали. Представлены результаты доказывают о целесообразности использования разработанных технологий восстановления и укрепления широкого спектра деталей из стали 45 в машиностроении.

Ключевые слова: восстановление деталей, износостойкость, лазерная обработка, микроструктура, металлографические исследования, рабочая поверхность.

¹O. Cherneta, Ph.D., ¹V. Syhomlin, Ph.D., ²R. Voloschuk, ¹S. Goobarev, Ph.D.,

¹Dneprovsky State Technical university

²Public Joint-Stock Company "Dnepr-Azot"

FEATURES OF THE STRUCTURE OF THE REFINED SURFACE BALL OF 45 STEEL AFTER STRENGTHENING BY LASER FIGHTING

The microstructures of the surface layer of parts made of steel 45 are investigated, which are restored by welding by electrodes OZH-3 and reinforced by laser boring. An analysis of the formation of layered zones from the working surface to the base metal, as well as the measurements of the microhardness of the experimental surfaces, has been carried out. X-ray diffraction studies of the respective zones for the determination of phases, as well as the presence of carbides, borides and other components that directly affect the physical and mechanical properties of the working surfaces. The results of studies on relevant samples of steel parts 45 of the weld surface electrodes OZH 3 the images of microstructures at different magnifications work surfaces, tables and graphs are presented distribution of micro hardness of the surface layer parts. The presented results prove the expediency of using the developed technologies of restoration and strengthening of a wide spectrum of details from steel 45 in mechanical engineering.

Key words: component renewal, wear resistance, laser treatment, metallurgical microstructure, working surface.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2018.

УДК 621.316

Яндульський О.С., д.т.н., проф., Марченко А.А., к.т.н., доц., Гулий В.С., аспірант.
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВТОРИННОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА ПОТУЖНОСТІ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ЕНЕРГОБЛОКІВ РІЗНИХ ТИПІВ

Ефективне регулювання частоти та активної потужності відіграє важливу роль в забезпеченні надійної роботи енергосистеми. Аналіз стану вторинного регулювання частоти та активної потужності в ОЕС України показав, що в ОЕС України існує проблема недостатнього резерву активної потужності вторинного регулювання. Залучення енергоблоків ТЕС дозволить забезпечити необхідний резерв, проте використання енергоблоків ТЕС з різними маневровими характеристиками вимагає проведення додаткових досліджень ефективності регулювання частоти в енергосистемі. В даній роботі проведені дослідження та аналіз режимів роботи 2-х зонної енергосистеми при виникненні небалансу активної потужності. При цьому розглянуто декілька типів центрального регулятора САРЧП, а також враховано роботу теплового обладнання енергоблоку ТЕС, який залучений до вторинного регулювання. Виконано порівняльний аналіз ефективності вторинного регулювання частоти та активної потужності при використанні різних методів налаштування параметрів регулятора. Аналіз отриманих результатів показав, що застосування центрального регулятора на основі теорії нечіткої логіки забезпечує виконання чинних вимог до регулювання частоти та активної потужності.

Ключові слова: вторинне регулювання частоти та активної потужності, енергосистема, система автоматичного регулювання частоти та потужності, регулятор, частота.

Регулювання частоти є однією з ключових позицій в безпечному функціонуванні енергосистеми. На теперішній час в ОЕС України повинно виконуватись ряд заходів для регулювання частоти. А саме: забезпечення первинного, вторинного та третинного регулювання частоти згідно чинних нормативних вимог. За останні роки на деяких ТЕС була проведена реконструкція, що дозволило залучити їх до нормованого первинного регулювання частоти та активної потужності. Однак проблема забезпечення резервів вторинного регулювання досі не вирішена, оскільки існуючий резерв вторинної потужності недостатній згідно вимог [1–3].

Для вирішення даної проблеми існує можливість залучення енергоблоків ТЕС до участі у вторинному регулюванні частоти та активної потужності. Аналіз існуючих досліджень [4] показав, що при дослідженні роботи ТЕС при вторинному регулюванні не враховується теплосилове обладнання енергоблоку. Експериментальні дослідження [5] підтверджують необхідність розробки комплексної моделі енергоблоку ТЕС з врахуванням теплосилового обладнання та проведення детального порівняльного аналізу роботи ТЕС в цих умовах.

Метою роботи є дослідження ефективності участі ТЕС у вторинному регулюванні частоти та активної потужності за умови врахування роботи котельного обладнання та порівняння роботи регуляторів САРЧП різних типів.

На теперішній час ОЕС України працює паралельно з Єдиною енергосистемою (ЄЕС) Росії в режимі автоматичного регулювання активної потужності з корекцією по частоті. Згідно [3] система автоматичного регулювання активної потужності енергоблоку повинна забезпечити зміну потужності всього діапазону вторинного регулювання протягом 15 хв після виникнення небалансу активної потужності.

З метою підвищення ефективності регулювання частоти та активної потужності було виконано ряд досліджень, пов'язаних з оптимальним налаштуванням центрального регулятора системи автоматичного регулювання частоти та потужності (САРЧП) з використанням методів: Зіглера-Нікольса [6], CHR (Chien-Hrones-Reswick) та роботи ПІ регулятора на основі теорії нечіткої логіки [7] без врахування котельного обладнання в моделях енергоблоків ТЕС, а також виконано дослідження ефективності роботи ПІ регулятора на основі теорії нечіткої логіки при врахуванні роботи котла в моделі енергоблоку ТЕС.

Для досліджень було створено математичну модель 2-х зонної енергосистеми [8], узагальнена структурна схема якої приведена на рис.1. Кожна зона включає еквівалентні енергоблоки ТЕС, які задіяні у первинному та вторинному регулюванні частоти та активної потужності, навантаження кожної енергосистеми з еквівалентами нерегульованих турбін. Зони регулювання з'єднуються лініями зв'язку, які представлені однією еквівалентною лінією.

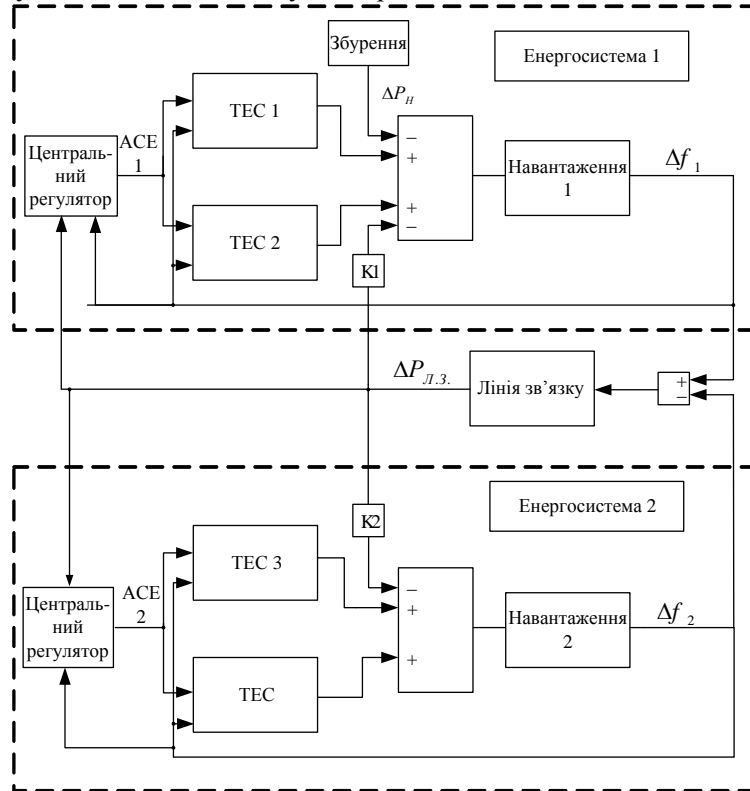


Рис.1. Структурна схема 2-х зонної моделі енергосистеми

Структуру 2-х зонної моделі сформовано виходячи з наведених нижче математичних залежностей.

Так, рівняння, яке зв'язує небаланс потужності та відхилення частоти представлено як [9]:

$$\Delta P_M(t) - \Delta P_H(t) = 2 \cdot H \frac{\partial \Delta f(t)}{\partial t} + D \cdot \Delta f(t) \quad (1)$$

де ΔP_M - зміна механічної потужності, ΔP_H - зміна навантаження, H - постійна інерції, D - коефіцієнт демпфування.

Використовуючи перетворення Лапласа рівняння (1) представлено як:

$$\Delta P_M(p) - \Delta P_H(p) = 2 \cdot H \cdot \Delta f(p) \cdot p + D \cdot \Delta f(p) \quad (2)$$

Рівняння перетоку потужності по лінії зв'язку двох енергосистем має вигляд:

$$\Delta P_{Л.З.1-2} = \frac{V_1 \cdot V_2}{X_{1-2}} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (3)$$

де V_1, V_2 - напруги на затискачах генераторів двох енергосистем; δ_1, δ_2 - кути потужності генераторів, X_{1-2} - індуктивний опір елементів ділянки 1-2.

Лінеаризувавши (3) в околі δ_1^0 та δ_2^0 та використавши перетворення Лапласа отримаємо:

$$\Delta P_{Л.З.1-2}(p) = (\Delta f_1(p) - \Delta f_2(p)) \frac{2 \cdot \pi \cdot T_{1-2}}{p}, \text{ де } T_{1-2} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{1-2}} \cos(\delta_1^0 - \delta_2^0) \quad (4)$$

Модель енергоблока ТЕС представлено з наступними складовими: системи автоматичного регулятора швидкості турбіни (АРШ), механізму управління турбіною (МУТ), котла та турбіни і приведено на рис. 2.

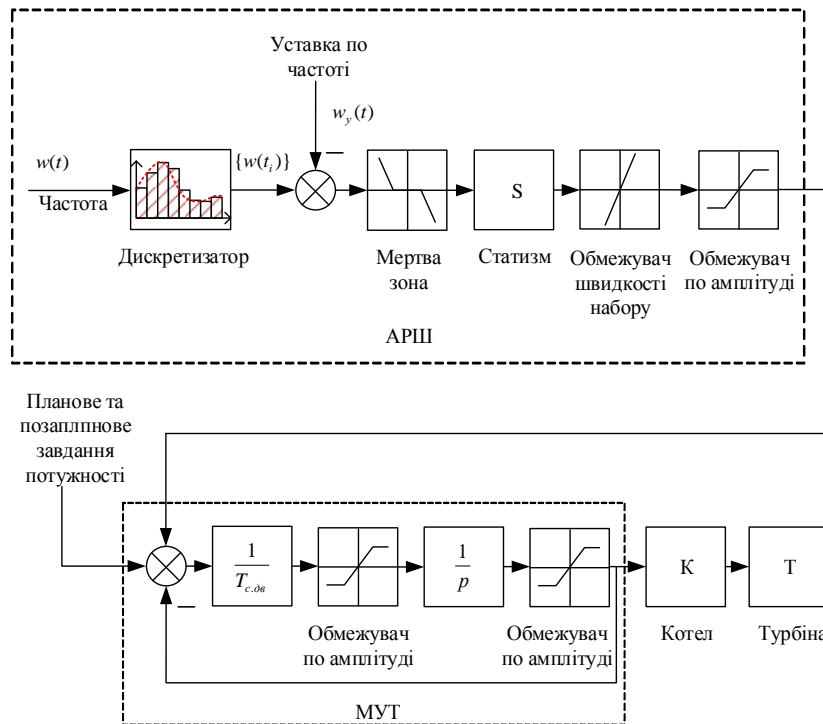


Рис.2. Структурна схема моделі енергоблока ТЕС (де $w(t)$ - поточне значення частоти, яка вимірюється на шині станції, $w_y(t)$ - уставка по частоті).

На виході АРШ формується сигнал зміни потужності енергоблоку згідно встановленого статизму, зони нечутливості по частоті та інших характеристик енергоблоку. Планове та позапланове завдання на зміну активної потужності енергоблоку надходить від задавача потужності енергоблоку та від центрального регулятора САРЧП кожної зони.

На вхід центрального регулятора надходить зміна відхилення частоти та перетоку активної потужності по лінії зв'язку. При виникненні небалансу потужності для кожної енергосистеми формується помилка регулювання АСЕ (Area control error). Для енергосистеми яка працює в режимі автоматичного регулювання активної потужності з корекцією по частоті значення АСЕ розраховується за формулою (5):

$$ACE = \Delta P_{Л.3.1-2}(p) + \beta \cdot \Delta f \quad (5)$$

де β - коефіцієнт коригування перетоку за частотою.

Структурна схема адаптивного ПІ регулятора на основі теорії нечітких множин представлена на рис. 3.

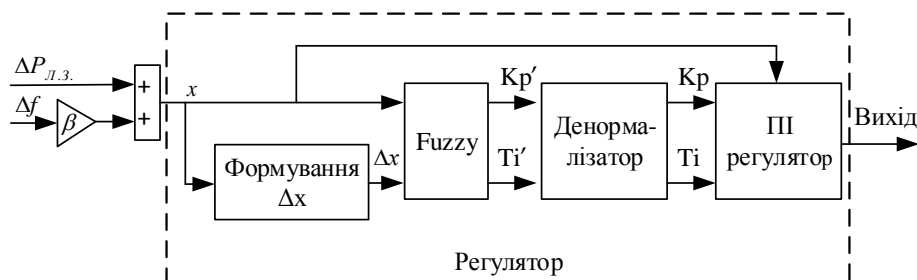


Рис.3. Структурна схема адаптивного регулятора на основі теорії нечітких множин

Запропонований адаптивний регулятор складається з блоку в якому реалізований алгоритм оснований на теорії нечіткої логіки (лінгвістичні змінні вхідних та вихідних сигналів якого зображені на рис. 4), блоку денормалізації, та класичного ПІ регулятора, параметри налаштування якого змінюються в залежності від рівня вхідного сигналу.

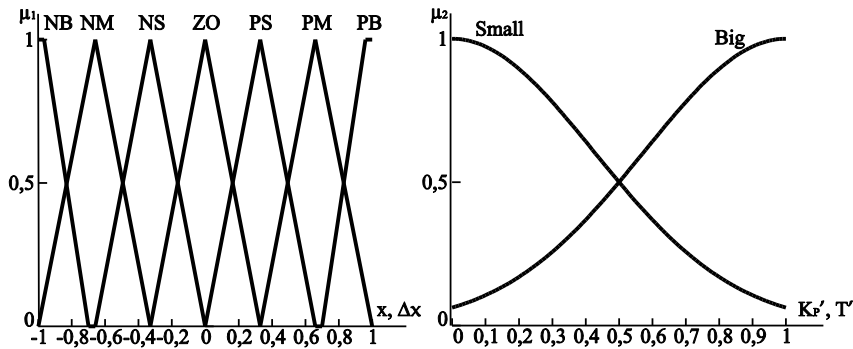


Рис.4. Лінгвістичні змінні входу та виходу регулятора

На вхід блоку нечіткої логіки подається помилка регулювання АСЕ, сигнал x та $\Delta x = x(i) - x(i-1)$, де $x(i)$ - значення поточного сигналу x , $x(i-1)$ - значення сигналу з затримкою на Δx . На виході блоку нечіткої логіки формуються нормалізовані значення параметрів налаштування: K_p' , T_i' ПІ регулятора. Перехід до реальних значень коефіцієнта підсилення та постійної часу ПІ регулятора виконується в денормалізаторі. Сигнал помилки регулювання АСЕ (сигнал x) також безпосередньо надходить на вхід ПІ регулятора, де формується керуючий вплив, який є виходом центрального регулятора САРЧП енергосистеми.

Використовуючи розроблену модель виконано моделювання режиму паралельної роботи двох енергосистем при збільшенні навантаження в першій енергосистемі на 0.02 в.о. при цьому враховуються наступні розрахункові величини: динамічне відхилення рівня частоти, перерегулювання по частоті, час поновлення резервів первинної потужності (час за який рівень частоти досягне значення $f_{ном} \pm 20$ мГц), час регулювання.

Аналіз отриманих результатів показав, що без врахування котельного обладнання при збільшенні навантаження в першій енергосистемі на 0,02 в.о. при оптимальному налаштуванні центрального регулятора за методом Зіглера-Нікольса динамічне відхилення частоти становить -60 мГц (крива 1, рис.5), перерегулювання склало 60 мГц, час поновлення резервів первинної потужності становить 146 с, однак на 15 хвилині після виникнення небалансу відхилення частоти становить -4.3 мГц. При налаштуванні параметрів регулятора методом СНР динамічне відхилення частоти становить -60.8 мГц (крива 2, рис.5), час поновлення резервів первинної потужності становить 250 с, перерегулювання відсутнє, на момент часу закінчення дії вторинного регулювання (15 хв) відхилення частоти становить -4.3 мГц. Використання регулятора на основі теорії нечітких множин показало, що перерегулювання становить 3.33 мГц (крива 3, рис.5), час поновлення резервів первинної потужності - 213 с, динамічне відхилення частоти становило -60.7 мГц, на момент часу закінчення дії вторинного регулювання (15 хв) відхилення частоти становить -0.45 мГц. Таким чином, використання центрального регулятора на основі теорії нечітких множин дозволяє зменшити перерегулювання по частоті в порівнянні випадком використання центрального регулятора, налаштованого за методом Зіглера-Нікольса, а також зменшити час поновлення резервів первинної потужності в порівнянні з використанням методу СНР.

Експериментальні дослідження [5, 6, 10] показали, що робота котельного обладнання значно впливає на маневреність та динамічні характеристики енергоблоків ТЕС. Тому з метою дослідження впливу котельного обладнання на якість регулювання частоти в енергосистемі було модернізовано модель енергоблоків ТЕС з врахуванням математичної моделі котла [11]. Моделювання режиму двох енергосистем з врахування котельного обладнання у складі математичної моделі ТЕС та з використанням регулятора на основі теорії нечітких множин показало, що динамічне відхилення частоти становить -63.1 мГц (крива 4, рис.5), час поновлення резервів первинної потужності - 531 с, перерегулювання відсутнє, на момент часу закінчення дії вторинного регулювання (15 хв) відхилення частоти становить -7.1 мГц.

Враховуючи отримані результати моделювання встановлено, що розраховані параметри вторинного регулювання при участі ТЕС з врахуванням котельного обладнання у вторинному регулюванні задовольняють вимоги чинних нормативних документів [1–3].

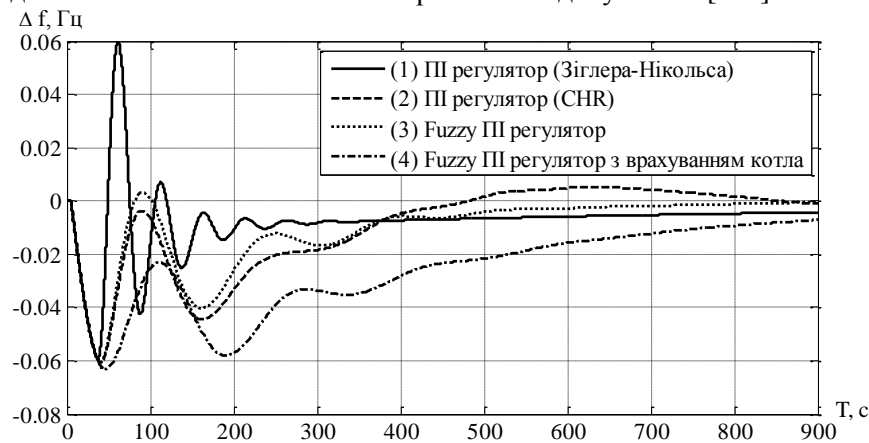


Рис.5. Графіки зміни частоти в енергосистемі

Висновки. Залучення енергоблоків ТЕС до вторинного регулювання частоти дозволить збільшити резерв потужності вторинного регулювання частоти та активної потужності. Використання центрального регулятора на основі теорії нечітких множин дозволило зменшити перерегулювання по частоті та час поновлення резервів первинної потужності в порівнянні з використанням таких методів налаштування параметрів ПІ регулятора, як метод Зіглера-Нікольса та метод CHR, що призведе до покращення показників якості регулювання частоти відповідно діючим нормативним вимогам.

Інформаційні джерела

1. Основні вимоги щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України / Київ, Україна : 2009. — С. 54.
2. Методики і рекомендації щодо організації первинного та вторинного регулювання частоти та потужності на енергоблоках ТЕС (ТЕЦ) / Київ, Україна : 2009. — С. 56.
3. Методики і рекомендації щодо перевірки готовності ТЕС, ГЕС і АЕС до участі у регулюванні частоти та потужності в ОЕС України / Київ : 2009. — С. 67.
4. Яндульський О. С. Особливості участі блоків ТЕС у вторинному регулюванні частоти в ОЕС України / О. С. Яндульський, В. С. Гулий // Наукові праці ВНТУ. — 2017. — No. 4. — С. 1–4.
5. Egido I. Modeling of thermal generating units for automatic generation control purposes / I. Egido, F. Fernández-bernal, L. Rouco[et al.] // IEEE transactions on control systems technology. — 2004.
6. Hambali N. Process controllability for flow control system using ziegler-nichols (zn), cohen-coon (cc) and chien-hrones-reswick (chr) tuning methods / N. Hambali, A. Masngut, A. A. Ishak, Z. Janin. — 2015.
7. Zhao Z. Y. Fuzzy gain scheduling of PID controllers / Z. Y. Zhao, M. Tomizuka, S. Isaka // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 1993.
8. Яндульський О. С. Оптимізація параметрів системного регулятора для автоматичного регулювання частоти та активної потужності в ОЕС України / О. С. Яндульський, А. А. Марченко, В. В. Мацейко, О. В. Хоменко // Наукові праці ДонНТУ. — 2013. — No. 2. — С. 294–298.
9. P.M. Anderson and A.A. Fouad Power system control and stability / P.M. Anderson and A.A. Fouad. — 2002.
10. Обстеження обладнання вуглегірської і старобешевської ТЕС на предмет відповідності вимогам исте щодо первинного і вторинного регулювання частоти і потужності / Горлівка : 2005.
11. Jagatheesan K. Load frequency control of an interconnected three area reheat thermal power systems considering non linearity and boiler dynamics with conventional controller / K. Jagatheesan, B. Anand // Advances in Natural and Applied Sciences. — 2014. — Vol. 8, No. 20. — С. 16–24.

Яндульский А.С., д.т.н., проф., Марченко А.А., к.т.н., доц., Гулий В.С., аспирант.
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВТОРИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ЭНЕРГОБЛОКОВ РАЗНЫХ ТИПОВ.

Эффективное регулирование частоты и активной мощности играет важную роль в обеспечении надежной работы энергосистемы. Анализ вторичного регулирования частоты и активной мощности в ОЭС Украины показал, что в ОЭС Украины существует проблема недостаточного резерва активной мощности вторичного регулирования. Привлечение энергоблоков ТЭС позволит обеспечить необходимый резерв, однако использование энергоблоков ТЭС с различными маневровыми характеристиками требует проведения дополнительных исследований эффективности регулирования частоты в энергосистеме. В данной работе проведены исследования и анализ режимов работы 2-х зонной энергосистемы при возникновении небаланса активной мощности. При этом рассмотрено несколько типов центрального регулятора САРЧП, а также учтено работу теплового оборудования энергоблока, который принимает участие в автоматическом вторичном регулировании. Выполнен сравнительный анализ эффективности вторичного регулирования частоты и активной мощности при использовании различных методов настройки параметров регулятора. Анализ полученных результатов показал, что применение центрального регулятора на основе теории нечеткой логики обеспечивает выполнение действующих требований к регулированию частоты и активной мощности.

Ключевые слова: вторичное регулирование частоты и активной мощности, энергосистема, система автоматического регулирования частоты и мощности, регулятор, частота.

O.S. Yandulskyi, A.A. Marchenko, V.S. Hulyi.
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

ANALYSIS OF THE SECONDARY LOAD-FREQUENCY CONTROL EFFICIENCY WITH INVOLVEMENT OF THE DIFFERENT TYPES OF POWER STATION UNITS.

The effective load frequency control plays an essential role in maintaining of reliability of the power system operation. The analysis of secondary load-frequency control (LFC) of Integrated Power System (IPS) of Ukraine revealed the existence of the problem of insufficient reserve of secondary LFC. Involvement of power units of thermal power plants (TPP) will provide the necessary reserve, but utilization of TPPs power units requires conduction of the additional trials and research of the LFC efficiency. In this paper trials and analysis of 2-area power system modes under load demand occurrence have been carried out. A number of centralized controllers of automatic LFC system and the influence of boiler dynamic of power units of TPPs that involved in secondary LFC were considered. The comparative analysis of the efficiency of secondary LFC with using of different methods of the settings of controller parameters has been completed. The analysis of obtained results showed that using of LFC automatic system that based on Fuzzy logic controller meets the LFC requirements.

Keywords: secondary LFC, power system, automatic LFC system, Controller, Frequency.

Стаття надійшла до редакції 13.07.2018

УДК 537.3

Яцинський Л.В., Захарчук Д.А., Коваль Ю.В., Панасюк Л.І.

Луцький національний технічний університет

КОНЦЕНТРАЦІЙНІ ЗАЛЕЖНОСТІ АЕРОІОНІВ ХЛОРИДУ НАТРІЮ У РІЗНИХ ЗОВНІШНІХ УМОВАХ

Концентраційні залежності аероіонів хлориду натрію у різних зовнішніх умовах. Л.В. Яцинський, Д.А. Захарчук, Ю.В. Коваль, Л.І. Панасюк. Розроблено та випробувано методику визначення концентрації аероіонів хлориду натрію за розрядом повітряного конденсатора. Перевагами даної методики є те, що усі вимірювання проводились без штучно введених аероіонів та з ними, а результати вимірювань потім віднімались. Такий підхід дозволює виключити регулярні похибки вимірювань.

В роботі представлено залежності концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від відстані до їх джерела, від відстані до бокових стін приміщення, від часу після вимикання джерела, від відстані до стін «соляної кімнати». Отримані залежності пояснюються наступними механізмами: зменшенням з відстанню потужності механічного закидання аероіонів вентилятором джерела, зростанням з відстанню ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря, зростанням з відстанню ймовірності прилипання негативних аероіонів хлориду натрію на стінках, стелі та підлозі приміщення, впливом сили ваги на аероіони, посиленою «генерацією» аероіонів хлориду натрію з поверхні стін «соляної кімнати».

Ключові слова: електричне поле, електричний конденсатор, аероіони, соляна кімната.

Вступ. Поряд з температурою, вологістю, швидкістю руху повітря на життєдіяльність людини суттєво впливає його аероіонний склад. У приміщеннях з негативними іонами відбувається зменшення кількості шкідливих мікроорганізмів, знижується концентрація пилу в повітрі, нейтралізуються деякі гази, усуваються електростатичні заряди з поверхонь обладнання. Повітря, що містить негативні аероіони, є своєрідним екраном, що компенсує випромінювання від дисплеїв, телевізорів та іншої оргтехніки.

Природна іонізація відбувається в результаті впливу на повітряне середовище космічного випромінювання і частинок, що викидаються радіоактивними речовинами при їх розпаді. Штучна іонізація здійснюється спеціальними пристроями - аероіонізаторами.

Зрозуміло, що для контролю концентрації та полярності аероіонів необхідно мати точні та зручні у користуванні прилади. Зважаючи на вищесказане, метою роботи була розробка достатньо точної методики та лабораторної установки для визначення концентрації природних та штучно введених у повітря негативних аероіонів хлориду натрію, а також дослідження залежності їх концентрації від різних зовнішніх впливів.

Теоретична частина. За рухливостю весь спектр іонів у повітрі умовно ділять на кілька діапазонів [1]: легкі, для яких рухливість $\mu \geq 1 \cdot 10^{-5} \left(\frac{m^2}{B \cdot c} \right)$, середні $1 \cdot 10^{-5} > \mu > 1 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{B \cdot c} \right)$, важкі $1 \cdot 10^{-6} > \mu \left(\frac{m^2}{B \cdot c} \right)$.

Час, за який негативний аероіон пройде відстань від однієї пластини електричного конденсатора до іншої визначимо з означення рухливості:

$$\mu = \frac{v}{E} = \frac{vd}{U}; \Rightarrow v = \frac{\mu U}{d}; \Rightarrow t = \frac{d}{v} = \frac{d^2}{\mu U}.$$

При різниці потенціалів між обкладками повітряного конденсатора $U=1000 \text{ В}$ і рухливості $\mu=1,4 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{B \cdot c}$ відстань між пластинами $0,25 \text{ м}$ негативний аероіон пройде за час $4,46 \text{ с}$.

Після $4,46\text{ с}$ розряду у повітрі без штучно внесених негативних аероіонів хлориду натрію, на пластинах конденсатора залишився заряд (q'_1), який можна визначити за кількістю поділок (n_1), на які відхилилася стрілка гальванометра при розряді такого конденсатора через електричне коло [2]:

$$q'_1 = \frac{CU}{n_{\max}} n_1.$$

При цьому природні іони повітря за $4,46\text{ с}$, під дією електричного поля конденсатора, перенесли на його пластини заряд протилежного знаку (розрядили конденсатор) q_1 , який можна визначити:

$$q_1 = q_{\max} - q'_1 = \frac{CU}{n_{\max}} (n_{\max} - n_1).$$

За ті ж $4,46\text{ с}$ природні іони повітря разом з штучно внесеними негативними аероіонами хлориду натрію перенесуть на пластини конденсатора заряд q_2 , який за аналогією визначимо:

$$q_2 = \frac{CU}{n_{\max}} (n_{\max} - n_2) \frac{1}{2},$$

де n_2 – кількість поділок, на які відхилилася стрілка гальванометра при розряді конденсатора через електричне коло у даному випадку.

Величину заряду q власне негативних аероіонів хлориду натрію, що осіли на пластинах конденсатора за $4,46\text{ с}$ визначимо:

$$q = q_2 - q_1 = \frac{CU}{n_{\max}} [n_1 - n_2].$$

Кількість аероіонів у об'ємі між пластинами повітряного конденсатора (ті, що за $4,46\text{ с}$ долетіли до позитивної пластини) знайдемо з виразу:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{q_2 - q_1}{e} = \frac{CU}{n_{\max} e} [n_1 - n_2],$$

де e – елементарний заряд (заряд однозарядового іона).

Концентрацію негативних аероіонів визначимо наступним чином:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{CU}{n_{\max} e V} [n_1 - n_2].$$

Враховуючи, що:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad V = Sd,$$

вираз для концентрації негативних аероіонів набуде вигляду:

$$n = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 U}{n_{\max} e d^2} [n_1 - n_2]. \quad (1)$$

Експериментальна частина.

1. Установа для визначення концентрації негативних аероіонів хлориду натрію у повітрі за відхиленням стрілки гальванометра при розряді повітряного конденсатора.

Джерелом негативних аероіонів хлориду натрію слугував генератор ЯГ 3.293.000 ТУ з максимальною продуктивністю $3,3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3} / \text{год}$.

В нашій вимірвальній установці як зовнішній повітряний електричний конденсатор C використано дві сіткові площини з провідного матеріалу розмірами $0,5\text{ м} \times 0,5\text{ м}^2$ з площею комірки 25 мм^2 [3]. Відстань між площинами $0,25\text{ м}$. Позитивно заряджена площина із зовнішньої сторони закрита діелектриком для відрізання звідти потоку негативних аероіонів. Повітряний конденсатор знаходився в ізольованому приміщенні на відстані 1 м від джерела аероіонів.

Джерелом високої напруги (1000 В) служить високовольтний генератор постійної напруги з паралельно включеним фільтром для згладжування можливих пульсацій струму.

Установа для визначення концентрації штучних негативних аероіонів хлориду натрію у повітрі представлена електричною схемою зображеною на рис. 1.

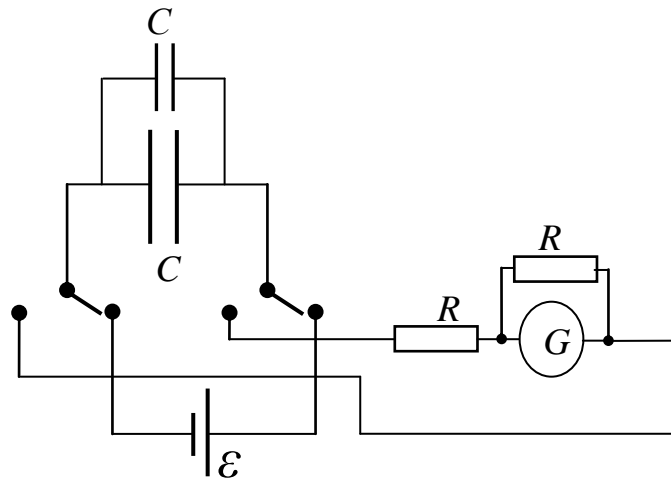


Рис. 1. Електрична схема установки для визначення концентрації негативних аероіонів хлориду натрію у повітрі за відхиленням стрілки гальванометра при розряді повітряного конденсатора

В експериментальній установці повітряний конденсатор C , який поміщений в ізольованому приміщенні, паралельно під'єднаний до конденсатора з ємністю $C_0 = 40 \text{ мкФ}$ для збільшення загального заряду на обкладках системи конденсаторів [4]. Так як електрична ємність повітряного конденсатора становить 8 нФ , тому відчутного вкладу у загальну ємність системи конденсаторів вона не вносить. Опори R та R_{III} експериментально підбиралися так, щоб виконувалась умова, за якою прилад М244 можна було використати як балістичний гальванометр. Крім того, опір шунта R_{III} підбирався так, щоб при розряді повністю зарядженої системи конденсаторів відхилення стрілки гальванометра було максимальне.

Час, за який аероіон пролітає відстань між пластинами повітряного конденсатора в середньому рівний $4,46 \text{ с}$, тому для збільшення точності експерименту час розряду повітряного конденсатора було збільшено до 60 с . При цьому одержане значення концентрації ділилось на $13,45 (60/4,46)$.

2. Дослідження залежності концентрації штучних негативних аероіонів хлориду натрію від часу роботи генератора ЯГ 3.293.000 ТУ.

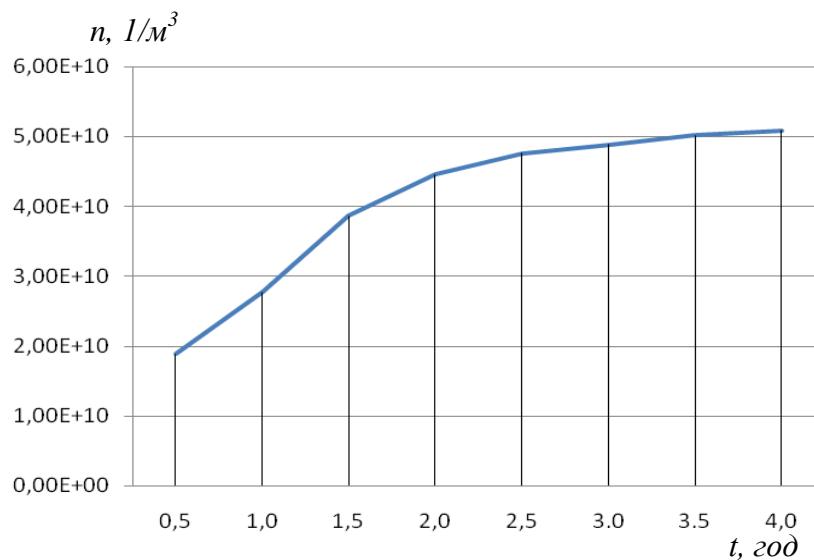


Рис. 2. Залежність концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від часу роботи генератора аероіонів за методом відхилення стрілки гальванометра при розряді конденсатора

Відповідно до експериментальних даних побудовано графік залежності концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від часу роботи генератора аероіонів ЯГ 3.293.000 ТУ за методом відхилення стрілки гальванометра при розряді конденсатора (рис. 2).

Вихід залежності на насичення практично після трьох годин роботи генератора пояснюється:

- зростанням ймовірності рекомбінації негативних аероіонів із збільшенням їх концентрації з природними позитивними іонами повітря;
- зростанням ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на стінках приміщення із зростанням їх концентрації.

Необхідно зауважити, що при продовженні роботи генератора понад 6 год (дані не приведені на графіку) відбувається подальше зростання концентрації негативних аероіонів через вичерпання в приміщенні природних позитивних іонів повітря.

3. Залежність концентрації штучно введених негативних аероіонів від відстані до джерела. Використавши представлену методику було досліджено залежність концентрації штучно введених негативних аероіонів від відстані до джерела після 1,5 год його роботи. Дані дослідження проводились у приміщенні розмірами 12г 4г 3 м³, вздовж якого через кожен метр на висоті 0,8 м були розташовані повітряні електричні конденсатори, які по чергово підключались до вимірювальної установки. Це дозволяло проводити визначення концентрації аероіонів в режимі реального часу. Усереднені експериментальні результати представлені графіком зображеним на рис 3.

Зменшення концентрації штучно введених негативних аероіонів із зростанням відстані від джерела можна пояснити наявністю, як мінімум, трьох механізмів:

- зменшення з відстанню потужності механічного закидання аероіонів вентилятором джерела;
- зростання з відстанню ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря;
- зростання з відстанню ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на стінках, стелі та підлозі приміщення.

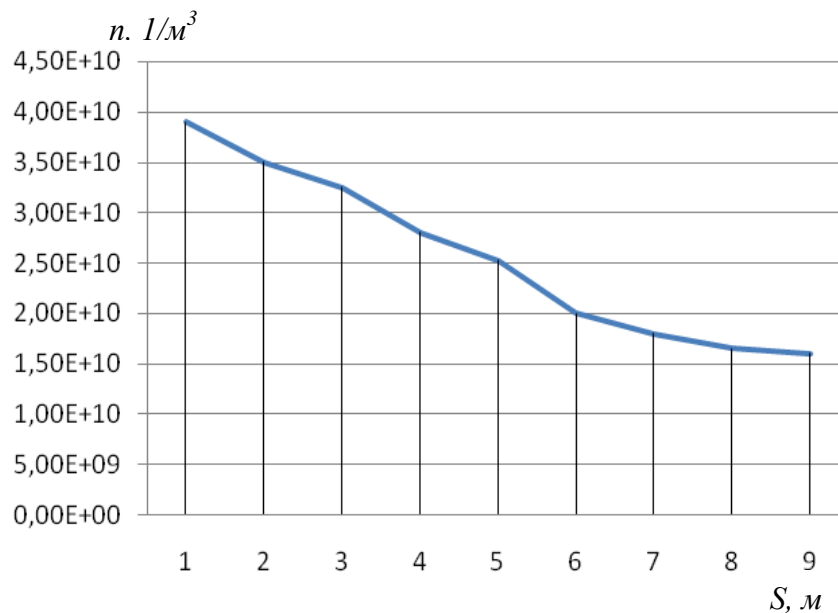


Рис. 3. Усереднена залежність концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від відстані до джерела через 1,5 год його роботи

Аналогічні дослідження були проведені також для визначення розподілу концентрації по ширині кімнати для різних відстаней від джерела. Для цього систему повітряних конденсаторів на тій же висоті почергово, після 1,5 год роботи джерела, розміщували на різних відстанях від бічної стіни. Результати досліджень і розрахунків представлені на рис. 4.

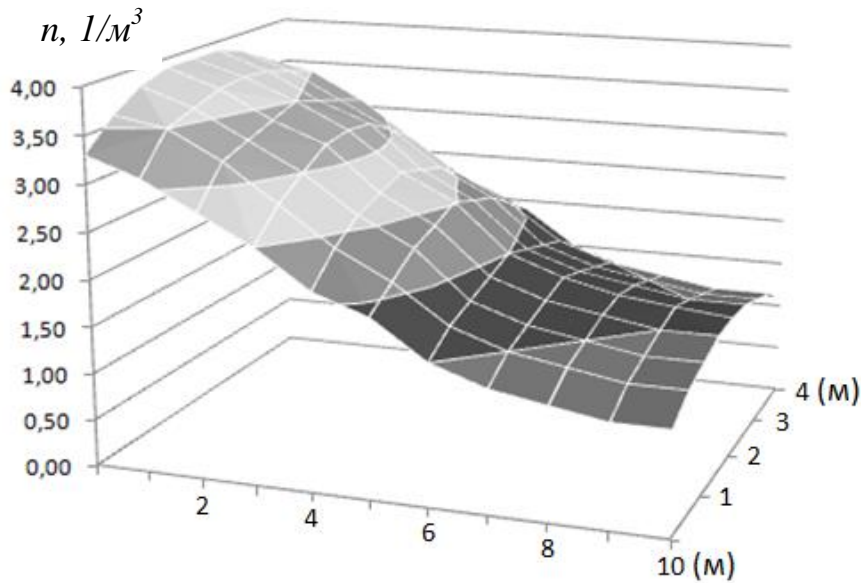


Рис. 4. Розподіл концентрації аероіонів хлориду натрію по ширині кімнати для різних відстаней від джерела

Представлена залежність концентрації штучно введених негативних аероіонів від відстані до бокових стін приміщення може бути пояснена додатковим зростанням (з наближенням до стін) ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на їх поверхні.

4. Залежність концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від часу з моменту вимкнення джерела. Експерименти проводились у вище описаному ізольованому приміщенні, де повітряний конденсатор знаходився на відстані 1 м від джерела аероіонів. Час роботи генератора до моменту його вимкнення становив 3,5 год. Усереднені дані залежності концентрації штучно введених негативних аероіонів хлориду натрію від часу після вимкнення джерела представлені на рис. 5.

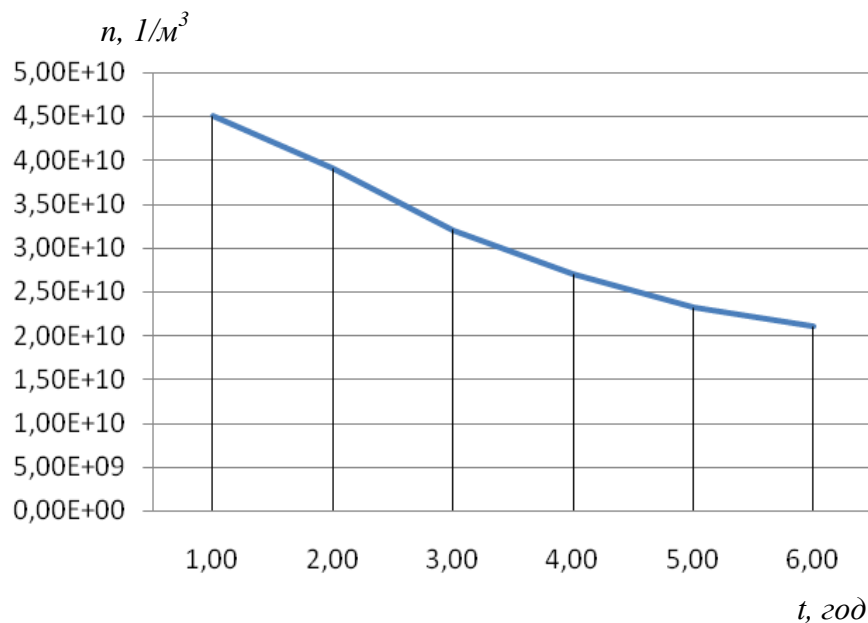


Рис. 5. Усереднена залежність концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від часу після вимкнення джерела

Зменшення концентрації штучно введених негативних аероіонів із часом після вимикання джерела можна пояснити наявністю, як мінімум, трьох механізмів:

- зростання з часом ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря;
- зростання з часом ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на стінках, стелі та підлозі камери;
- вплив сили ваги на негативні аероіони хлориду натрію.

5. Залежність концентрації природних негативних аероіонів хлориду натрію в «соляній кімнаті» від відстані до її стін. Для досліджень використано «соляну кімнату» gkјot. 5г 4 м² і висотою 3,5 м. Стіни, стеля і підлога кімнати викладені брусками солі хлориду натрію і являють собою природне джерело негативних аероіонів. Для збільшення концентрації аероіонів хлориду натрію «соляна кімната» була закрита для відвідувачів впродовж трьох діб, що дозволило проводити вимірювання більших величин. Повітряні конденсатори розміщували на висоті 1,7 м через кожні 0,5 м по всій площі кімнати і по чергово підключались до вимірювальної установки, яка знаходилась за межами кімнати. Результати досліджень і розрахунків представлені на рис. 6.

Представлена залежність концентрації природних негативних аероіонів хлориду натрію від відстані до стін «соляної кімнати» може бути пояснена:

- «поширеною генерацією» аероіонів хлориду натрію з поверхні стін з наближенням до них;
- зростанням з відстанню ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря.

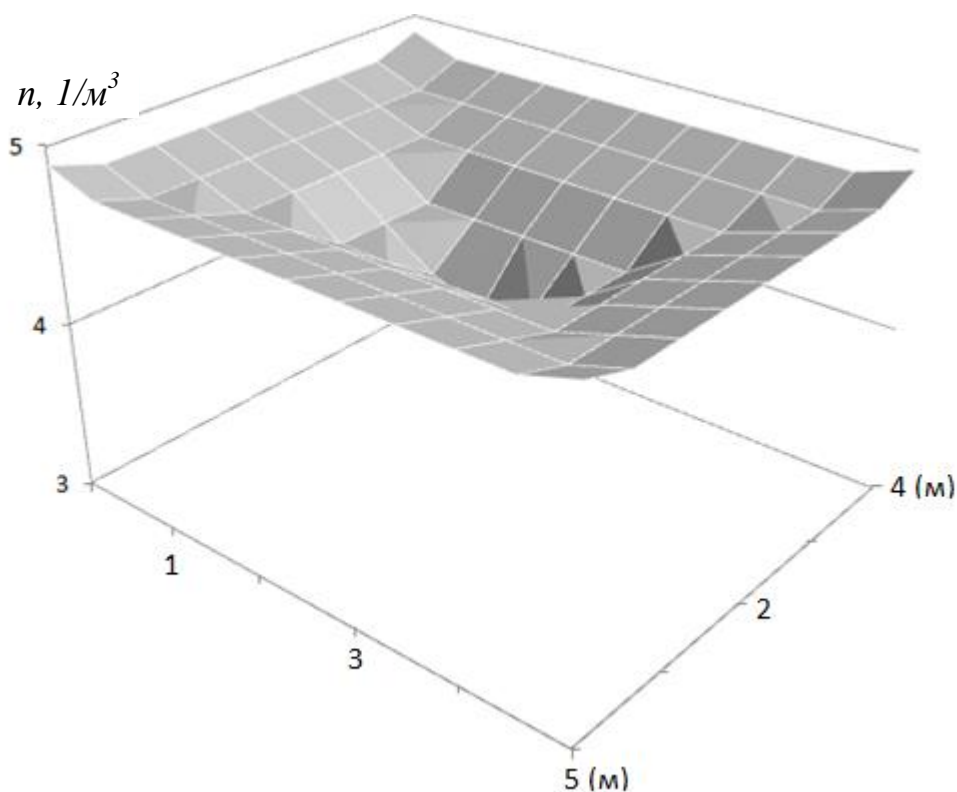


Рис. 6. Розподіл концентрації аероіонів хлориду натрію по площі «соляної кімнати» на висоті 1,7 м

Висновки.

1. Розроблено та випробувано методику визначення концентрації аероіонів хлориду натрію за відхиленням стрілки гальванометра при розряді повітряного конденсатора.

2. Переваги даної методики:

- усі вимірювання проводились без штучно введених аероіонів та з ними, а результати вимірювань потім віднімались (такий підхід дозволив виключити регулярні похибки вимірювань);

- представлена експериментальна установка при її модернізації може забезпечити більшу точність визначення концентрації негативних аероіонів хлориду натрію за заводські лічильники.

3. Недоліками експериментальної установки є певна суб'єктивність в оцінці кількості поділок на які відхилилась стрілка гальванометра, а також те, що дана установка позбавлена мобільності на відміну від заводських аналогів.

4. Спадна залежність концентрації негативних аероіонів хлориду натрію від відстані до їх джерела пояснюється:

- зменшенням з відстанню потужності механічного закидання аероіонів вентилятором джерела;

- зростанням з відстанню ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря;

- зростанням з відстанню ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на стінках, стелі та підлозі приміщення.

5. Представлена спадна залежність концентрації штучно введених негативних аероіонів від відстані до бокових стін приміщення пояснюється додатковим зростанням, з наближенням до стін, ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на їх поверхні.

6. Зменшення концентрації штучно введених негативних аероіонів із часом після вимикання джерела можна пояснити наявністю, як мінімум, трьох механізмів:

- зростання з часом ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря;

- зростання з часом ймовірності прилипання (осідання) негативних аероіонів хлориду натрію на стінках, стелі та підлозі камери;

- вплив сили ваги на негативні аероіони хлориду натрію.

7. Отримана залежність концентрації природних негативних аероіонів хлориду натрію від відстані до стін «соляної кімнати» пояснюється:

- посиленою «генерацією» аероіонів хлориду натрію з поверхні стін з наближенням до них;

- зростанням з відстанню ймовірності рекомбінації штучно введених негативних аероіонів з позитивними природними іонами повітря.

8. Представлені в роботі результати будуть корисними при застосуванні іонів хлориду натрію в лікувальних чи профілактичних цілях.

Список використаної літератури

1. Eichmeier J. Beitrag zum Problem der Struktur der atmosphärischen Kleinionen. – "Zeitschrift für Geophysik". – 1968. – V.34. – P. 297-322.

2. Коренівська О.Л. Вимірювання концентрації від'ємнозаряджених аероіонів. / О.Л. Коренівська, В.Ф. Манойлов, П.П. Мартинчук // Збірник тез доповідей 8 Міжнародної науково-технічної конференції Приладобудування: стан і перспективи, 28-29 квітня 2009 р. м. Київ ПБФ, НТУУ «КПІ» – 2009. – С. 169 – 170.

3. Ящинський Л., Захарчук Д., Панасюк Л., Коваль Ю., Шипелик Ю. Електричне поле, як інструмент для визначення концентрації аероіонів хлориду натрію при атмосферному тиску / Л. Ящинський, Д. Захарчук, Л. Панасюк, Ю. Коваль, Ю. Шипелик // Технічні вісті. – 2017. – №45(1)/46(2). – С. 66 – 70.

4. Ящинський Л.В., Захарчук Д.А., Панасюк Л.І., Коваль Ю.В., Шипелик Ю.П. Експериментальне визначення концентрації аероіонів у повітрі за величиною спаду напруги на зовнішньому опорі / Л.В. Ящинський, Д.А. Захарчук, Л.І. Панасюк, Ю.В. Коваль, Ю.П. Шипелик // Тези IV Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми конструювання, експлуатації та ремонту обладнання лісового комплексу» – Луцьк: Луцький НТУ, 16-17 листопада 2017 р. – С. 199-200.

Ящинський Л.В., Захарчук Д.А., Коваль Ю.В., Панасюк Л.И.

Луцкий национальный технический университет

КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ АЭРОИОНОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

Концентрационные зависимости аэроионов хлорида натрия в различных внешних условиях. Л.В. Ящинський, Д.А. Захарчук, Ю.В. Коваль, Л.И. Панасюк. Разработан и испытан методика определения концентрации аэроионов хлорида натрия по разряду воздушного конденсатора. Преимуществами данной методики является то, что все измерения проводились без искусственно введенных аэроионов и с ними, а результаты измерений затем отнимались. Такой подход позволил исключить регулярные погрешности измерений.

В работе представлены зависимости концентрации отрицательных аэроионов хлорида натрия от расстояния до их источника, от расстояния до боковых стен помещения, от времени после выключения источника, от расстояния до стен «соляной комнаты». Полученные зависимости объясняются следующими механизмами: уменьшением с расстоянием мощности механического заброса аэроионов вентилятором источника, ростом с расстоянием вероятности рекомбинации искусственно введенных отрицательных аэроионов с положительными природными ионами воздуха, ростом с расстоянием вероятности прилипания отрицательных аэроионов хлорида натрия на стенках, потолке и полу помещения, влиянием силы веса на аэроионы, усиленной «генерацией» аэроионов хлорида натрия с поверхности стен «соляной комнаты».

Ключевые слова: электрическое поле, электрический конденсатор, аэроионы, соляная комната.

L.V. Yashchynskiy, D.A. Zakharchuk, Y.V. Koval, L.I. Panasyuk

Lutsk National Technical University

CONCENTRATION DEPENDENCES OF AEROIONS OF SODIUM CHLORIDE UNDER DIFFERENT EXTERNAL CONDITIONS.

Concentration dependence of aero ions of sodium chloride under different external conditions. L.V. Yashchynskiy, D.A. Zakharchuk, Y.V. Koval, L.I. Panasyuk A method for determining the concentration of aeroion ions of sodium chloride by discharging an air condenser has been developed and tested. The advantages of this technique are that all measurements were carried out without artificially introduced aeroions and with them, and the measurement results were then subtracted. This approach eliminates the regular errors of measurements.

The paper presents the dependence of the concentration of negative aeroions of sodium chloride from the distance to their source, from the distance to the side walls of the room, from the time after the source is shut down, from the distance to the walls of the salt room. The resulting dependencies are explained by the following mechanisms: the decrease in the power distance of the mechanical airflow of the aeroion by the source fan, the increase in the probability of recombination of artificially introduced negative air ions with positive natural air ions, with the increase in the probability of adherence of negative aeroiones of sodium chloride on the walls, the ceiling and the floor of the room, by the influence of force Weights on aeroions, enhanced "generation" of aeroions of sodium chloride from the surface of the walls of the salt room.

Keywords: electric field, electric capacitor, aeroion, salt room.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2018

ДО УВАГИ КОРЕСПОНДЕНТІВ!
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ ДО
ЗБІРНИКА «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ»

1. Наукова стаття повинна мати наступні елементи: 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 питань загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); структурований виклад матеріалів дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; чіткі висновки, які відповідають цілям і стану даного дослідження і перспективи подальшої роботи у даному напрямку.

2. Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Стаття повинна бути набрана у текстовому редакторі не нижче MS WORD 6.0/7.0 і надрукована тільки на лазерному або струменевому принтері на білих листках формату А4 (290x210 мм). Нумерацію сторінок не виконувати.

3. Параметри сторінки: ліве – 3 см, верхнє, нижнє, праве поле – 2 см. Від краю до колонтитула верхнього – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.

4. Шапка статті: індекс УДК, прізвища та ініціали авторів, назва організації – набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується на 1 см нижче назви організації, набирається прописними літерами шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з напівжирним виділенням і вирівнюється по центру. Анотація має бути розширеною (об'ємом 1000-1200 знаків), повинні містити короткий виклад статті і розміщуються на 1 см нижче назви статті, набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій вказуються ключові слова. Прізвища та ініціали авторів, назва організації, назва статті, анотація, ключові слова подаються українською, російською та англійською мовами, при чому, анотація мовою статті подається на початку, а прізвище, назва організації, назва статті, анотація, ключові слова іншими двома мовами після інформаційних джерел.

5. Основний текст розміщується на 1 см нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюється по ширині.

6. Для набирання формул застосовувати редактор формул MS WORD (використовувати шрифт для формул Symbol; для тексту – Time New Roman Cyr; розмірами: звичайний 12 пт., крупний індекс 7 пт., дрібний індекс 5 пт., крупний символ 18 пт., дрібний символ 12 пт.). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.

7. Наявні ілюстрації розташовувати по тексту, вирівнюючи підписи (Рис. 1. Схема ...) по центру. Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі в форматі jpg. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.

8. Таблиці розташовувати по тексту, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею поставити її порядковий номер (Таблиця 1) – вирівнюючи по правому краю, під яким розмістити назву таблиці, вирівнюючи по центру.

9. Інформаційні джерела подається загальним списком в кінці рукопису згідно з вимогами державного стандарту через 1 см від останнього рядка.

10. До статті обов'язково додаються відомості про авторів:

- Прізвище, Ім'я, По батькові;
- Місце роботи, посада, науковий ступінь, вчене звання;
- Наукові інтереси;
- Адреса для листування, телефон.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- Заява на ім'я редакції про те, що стаття не є плагіатом і друкується автором вперше.

Основні наукові напрями:

1. Прилади та системи фізичних та біомедичних технологій.
2. Прогресивні технологічні процеси в машино- та приладобудуванні.
3. Проблеми технологічного менеджменту та сервісного обслуговування медичної техніки.
4. Метрологія, інформаційно-вимірвальні технології, стандартизація та сертифікація.
5. Проблеми, теорія та практика підготовки фахівців технічного спрямування в контексті євроінтеграції вищої школи України.

Статті приймаються в електронному вигляді – за електронною адресою: **confkptm@gmail.com**, в письмовому вигляді – за поштовою адресою: **43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, каф. Приладобудування (каб. 40)**, відповідальному редактору В.І. Марчуку постійно протягом року.

Редакція здійснює рецензування статей у такій послідовності:

- перевірка статті на відповідність вимогам;
- прийняття рішення щодо прийому статті;
- інформування авторів про можливість *публікації та дозвіл на оплату.*

Статті приймаються українською, російською або англійською мовами. Вартість публікації становить **35 грн.** за 1 стор.

Оплата проводиться за реквізитами:

Картка Приват банку № 5168 7573 4753 6411

В призначенні платежу слід вказати **«За видання статті у збірнику «Перспективні технології та прилади» від (ПБ)».**

Квитанцію про сплату надіслати у сканованому вигляді за електронною адресою **confkptm@gmail.com**.

Сайт видання **<http://www.ptp.pp.ua>**

Видання входить до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (наказ МОН України від 22.12.2016 № 1604 «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 13 грудня 2016 року»)

Журнал включено до переліку міжнародних наукових видань за номером ISSN 2313-5352

Видання індексується **Google Scholar**

Видання в національній бібліотеці **імені В.І. Вернадського**

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів можна отримати у технічного секретаря – **Марчук Ірини Вікторівни** за тел. **(0332) 26-49-43, 095-862-18-12**, або за електронною адресою: **confkptm@gmail.com**.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Комп'ютерний набір: Марчук І.В.
Технічний редактор: Марчук І.В..
Відповідальний за випуск Марчук В.І.
Друкується в авторській редакції

Здано у виробн. 01.12.2018 р.
Формат 60x84/16. Гарнітура Time New Roman. Папір офсетний.
Ум. друк арк. 22,5. Обл.-вид. арк.22,0 Тираж 500 пр. Зам. № 73

Віддруковано у інформаційно-видавничому відділі
Луцького національного технічного університету
43018, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Свідоцтво Держкомтелерадіо ДК №4123 від 28.07.2011 р.