

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Збірник наукових праць

Випуск 10
(червень, 2017)

Луцьк 2017

УДК 006, 537, 538, 546, 620, 621, 681

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 11 від 29 червня 2017 р.

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

ISSN: 2313-5352

Засновник Луцький національний технічний університет

Друкується в авторській редакції

«Перспективні технології та прилади» // м. Луцьк червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – 226 с.

В збірник включені статті, що відображають наукові та практичні результати сучасних розробок технології машино- та приладобудування, особливості експлуатації та перевірки приладів точної механіки та медичних приладів і систем. Представленні сучасні досягнення та перспективні напрямки розвитку технологічних приладових систем 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

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ
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 (заступник відповідального редактора)
Мороз Сергій Анатолійович, к.т.н., доцент, Луцький НТУ (заступник відповідального редактора)
Шваб'юк Василь Іванович, д.т.н., професор, Луцький НТУ
Максимович Володимир Миколайович, 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
Коломисць 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)
Марек Опеляк, д.т.н., ректор Любленська політехніка (Польща)
Антоній Свіць, д.т.н., професор, Любленська політехніка (Польща)
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
Яцинський Леонід Васильович, к.ф.-м.н., доцент, Луцький НТУ
Луньов Сергій Валентинович, к.ф.-м.н., доцент, Луцький НТУ
Мельник Світлана Адамівна, к.б.н., доцент, Луцький НТУ
Приступа Станіслав Олексійович, к.т.н., Луцький НТУ (відповідальний секретар)

ВІТАННЯ ДО ЮВІЛЕЮ!

22 червня 2017 року відзначає своє 70-річчя відповідальний редактор збірника наукових праць «Перспективні технології та прилади», доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування Луцького НТУ – Марчук Віктор Іванович, людина щира, добра, чуйна – справжній наставник та патріот України, який всі прожиті роки віддав на розвиток вітчизняної науки.

Шановний ювіляре, оглядаючись на пройдене, в цей день, можна з упевненістю стверджувати, що Вам є чим пишатись.

Професійний шлях становлення Марчук Віктор Іванович розпочав у 1975 році на кафедрі загальноінженерних дисциплін Луцького філіалу Львівського політехнічного інституту на посаді асистента. З 1980 року – асистент кафедри технології машинобудування Луцького філіалу Львівського політехнічного інституту. З 1985 року – старший викладач кафедри технології машинобудування Луцького філіалу Львівського політехнічного інституту. В 1986 році захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – “Технологія машинобудування” в Одеському політехнічному інституті. З 1988 року – доцент кафедри технології машинобудування Луцького філіалу Львівського політехнічного інституту. З 1991 року – доцент кафедри технології і автоматизації виробництва Луцького індустріального інституту. У 1995 призначений завідувачем кафедри приладобудування Луцького індустріального інституту. В 2004 році захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. У 2005 році присвоєно вчене звання професора кафедри приладобудування.



Під науковим керівництвом ювіляра захистили кандидатські дисертації 12 здобувачів. За період науково-педагогічної діяльності опубліковано більше 260 наукових та науково-методичних праць серед них 1 підручник, 10 навчальних посібників, 6 монографій, 12 патентів на корисні моделі.

Марчук Віктор Іванович – голова спеціалізованої вченої ради за спеціальністю 05.02.08 – Технологія машинобудування та керівник наукової школи за напрямком досліджень: “Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних характеристик поверхонь деталей машин та приладів на операціях механічного оброблення”. Нагороджений знаком «Відмінник освіти України», а також присвоєно звання «Заслужений викладач ЛНТУ».

Знання, довід та компетентність Віктора Івановича є справді безцінними і надзвичайно корисними для молодого покоління, колективу та університету в цілому.

Бажаємо Віктору Івановичу довгих років життя, міцного здоров'я, гарного настрою, творчої наснаги та успіхів у праці в ім'я розвитку освіти та науки України. Нехай кожний день дарує Вам нові ідеї, душа квітне любов'ю до людей, а Ваша педагогічна і наукова діяльність перевірена багаторічною працею, мудрість збагачена досвідом, щедرو віншує Ваш подальший життєвий шлях.

З повагою, редакційна колегія збірника наукових праць «Перспективні технології та прилади» та дружній колектив кафедри приладобудування Луцького НТУ.

ЗМІСТ

Авер'янов В.С., Шматко Д.З., Скобельський Р.Є. Определение вредных веществ выхлопных газов автотранспорта методом хроматографии	7
Баховський П.Ф., Євсюк М.М. Лишук В.В. Вимірювання електромагнітних випромінювань в системах мобільного зв'язку з метою забезпечення екогенної безпеки складних біологічних структур	12
V. Vakulenko, A. Moroz, S. Zayets, V. Shevchenko Definition of machinability material in process systems	16
Вісин О.О., Федорчук-Мороз В.І. Дослідження джерел виникнення шкідливих та небезпечних факторів в процесі функціонування технологічного обладнання приладо- та машинобудівного комплексу	24
Вонсевич К.П., Безуглий М.О., Гапонюк А.О. Інформаційно-вимірювальна система міографу біонічного протезу кінцівки	32
Гевко І.Б., Клендій В.М., Слободян Л.М. Транспортно-технологічні передумови проектування гвинтових завантажувачів	38
Дахнюк О.П., Корольова А.Г. Структурна модель процесу формування показників якості спряжених функціональних поверхонь обертання на фінішних зміцнювально-викінчувальних операціях	43
Дмитрієв В.С. Інжектуючі бар'єрні переходи на основі арсеніду галію для приладів нвч діапазону	50
Дмитрієв В.С. Омічні контакти на основі срібла для нвч приладів	54
Заблюцький В.Ю., Приступа С.О., Шимчук С.П. Вплив вихідної мікротвердості на параметри шорсткості отримані під час токарного оброблення	58
Клендій В.М., Навроцька Т.Д. Обґрунтування параметрів секційних гнучких гвинтових робочих органів конвеєрів	64
Кленов О.С. Определение параметров теплового процесса при шлифовании и лезвийной обработке	69
Коробко А.І. Нормування показників при розробці нових методів випробувань	76
Криворучко Д.В., Коротун М.М., Адамян М.А., Басов Б.С. Розробка 4х-координатного гоніометра для юстирування оптики транспортних засобів	81
Кругляк І.В., Серeda Д.Б., Кругляк Д.О. Получения многокомпонентных силицированных покрытий в режиме горения свс - систем	89
Y. Lapchenko, P. Dubyna Physical grounds and methods of ultrasonic diagnostics	98
Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Исследование технологической системы зубошлифования	104
Луців І.В., Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Дубиняк Т.С. Експериментальне обладнання для дослідження приводів гвинтових конвеєрів	115
Любачівський Р.О., Маруніч О.П. Синтез гвинтових транспортних механізмів з розширеними технологічними можливостями змішування	122
Марчук В.І., Караченцев В.Є. Спеціальні заходи узгодження, екранування та гальванічної розв'язки ліній зв'язку в локальних мережах	128
Марчук І.В., Олексин М.В., Ештеівілі А.М. Керування температурою шліфування на безцентрово-шліфувальних операціях	133
Мельник С.А. Аналіз сучасних технологій автоматизованих клініко-біохімічних досліджень	139

Мороз А.В., Заєць С.С. 3d принтери в приладобудуванні.....	143
Мороз С.А., Петрук І.В., Петрук О.В. Акустична емісія як відображення мікродинамічних процесів під час шліфування.....	149
Мороз С.А., Петрук О.В., Петрук І.В. Особливості застосування сигналів акустичної емісії для інформаційно-діагностичного супроводу технологічних процесів.....	154
Новиков Ф.В., Полянский В.И. Роль режущего рельефа алмазного круга в повышении производительности алмазного шлифования и снижении относительного расхода алмаза.....	161
Сасов О.О., Авер'янов В.С., Коржавін Ю.А., Соколов А.Д. Отримання математичної моделі формування сил різання при розрізанні навіпл зношених автомобільних шин.....	168
Струтинський В.Б., Симонюк В.П., Денисюк В.Ю. Дослідження закономірностей повільного циркуляційного вихрового руху робочого середовища у вібробункері.....	176
Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М. Генерування конструкцій гвинтових механізмів методом морфологічного аналізу з ієрархічним групуванням.....	186
Рябенков И.А. Закономерности снижения силовой и тепловой напряженности прерывистого шлифования.....	193
Ткачук А.А. Теплова модель процесу поверхневого пластичного деформування сферичним індентором.....	199
Чернета О.Г., Сухомлін В.І., Волощук Р.Г. Серeda Б.П. Дослідження мікроструктури зношених деталей автомобілів із сталі 45 при відновлені і багатократній термічній обробці.....	212
Шматко Д.З., Авер'янов В.С., Слота І.О. Отримання шумо-діагностичних параметрів підшипників кочення в залежності від застосування мастильних матеріалів у лабораторних умовах.....	217

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОТРАНСПОРТА
МЕТОДОМ ХРОМАТОГРАФИИ**

В данной работе разработана методика определения вредных веществ, которые выбрасываются с выхлопными газами в атмосферу, методом хроматографии. Определены вредные выбросы двигателей внутреннего сгорания и их концентрации. Опасными выбросами автотранспорта в атмосферу являются оксиды углерода и оксиды азота. Разработаны основные направления работ в области защиты атмосферы от загрязнения выбросами автотранспорта.

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

Постановка проблемы. Автомобильный транспорт занимает важное место в единой транспортной системе страны. Он перевозит более 80% народнохозяйственных грузов, что обусловлено высокой маневренностью автомобильного транспорта, возможностью доставки грузов «от двери до двери» без дополнительных перегрузок в пути, а, следовательно, высокой скоростью доставки и сохранностью грузов. Высокая мобильность, способность оперативно реагировать на изменения пассажиропотоков ставят автомобильный транспорт «вне конкуренции» при организации местных перевозок пассажиров. На его долю приходится почти половина пассажирооборота.

Автомобили перемещаются с помощью силового агрегата – двигателя внутреннего сгорания. При работе двигатель сжигает топливо. В зависимости от вида сжигаемого топлива, коэффициента расхода воздуха и типа двигателя горение топлива может происходить с образованием продуктов полного и неполного сгорания.

При полном горении топлива продукты сгорания состоят из следующих компонентов: двуокиси углерода CO_2 , водяных паров H_2O , избыточного кислорода O_2 и азота N_2 . Если в топливе есть соединения серы, то продукты горения содержат окислы серы SO_2 и SO_3 , которые относятся к числу вредных выбросов. Из окислов азота в выхлопных газах обычно присутствуют окись азота NO и двуокись азота NO_2 , которые также являются вредными для окружающей среды [1].

При неполном горении в продуктах сгорания топлива могут появиться горючие газы: окись углерода CO , водород H_2 , метан CH_4 , а иногда и углеводороды C_mH_n .

Для правильной работы двигателя необходимо контролировать коэффициент расхода воздуха по составу продуктов горения, а также определять химическую неполноту горения по присутствию горючих газов в продуктах сгорания.

В последние годы все большее значение приобретает проблема охраны окружающей среды. С целью поиска путей для снижения загрязнения воздушного бассейна производится большое количество комплексных исследований. Успех проведения таких исследований во многом зависит от возможностей газового анализа при определении концентрации различных вредных выбросов в продуктах сгорания и промышленных выбросах.

Наилучшим методом для определения состава газообразного топлива и продуктов неполного сгорания является газовая хроматография.

Современные хроматографы позволяют с высокой точностью в течение нескольких минут определить состав продуктов неполного сгорания: H_2 , CO , CH_4 , при этом погрешность прибора составляет 0,005% по объему.

Целью работы является разработка методики газового анализа выхлопных газов автотранспорта хроматографическим методом, определить опасные выбросы двигателей внутреннего сгорания и их концентрацию.

Основная часть. Хроматография является физико-химическим методом разделения, в процессе которого разделяемые компоненты фильтруются через неподвижный слой с большой поверхностью и разделяются последовательно. При этом происходит многократное повторение элементарных явлений сорбции и десорбции.

Основным вариантом хроматографии для анализа газовой смеси является проявительная газоадсорбционная хроматография (рис. 1) [2].

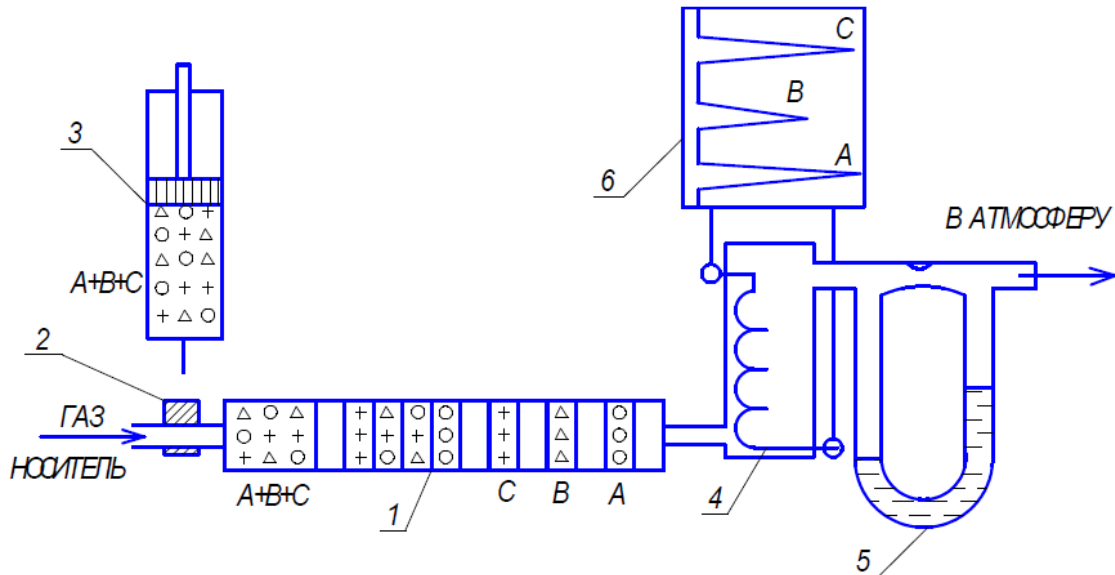


Рис. 1. Схема проявительного метода газоадсорбционной установки:

1 – разделительная колонка; 2 – дозирующее устройство; 3 – дозатор; 4 – детектор; 5 – реометр; 6 – хроматограмма.

На рис. 1 схематично показан процесс анализа газовой смеси этим методом. Поток газа-носителя непрерывно с постоянной скоростью, контролируемой реометром 5, пропускается через разделительную колонку 1, содержащую неподвижный слой активированного угля. Проба 6 исследуемой смеси, в которой содержатся определяемые компоненты А, В и С, в какой-то момент времени через устройство для ввода пробы дозатором 3 вводится в поток газа-носителя. Различие в физико-химических свойствах отдельных газов, входящих в состав пробы, вызывает различие в скоростях их передвижения через разделительную колонку.

Первоначально зоны, занятые компонентами А, В и С, взаимно перекрываются. Затем по мере их продвижения процесс завершается разделением компонентов на ряд полос, состоящих из бинарной смеси каждого компонента с газом-носителем и разделенных между собой зонами чистого газа-носителя. Первым покидает колонку газ, имеющий наименьшие сорбционные способности, последним – газ, наиболее хорошо сорбирующийся в данном неподвижном слое.

Физические свойства разделенного газового потока фиксируются чувствительным малоинерционным детектором 4. Сигнал детектора регистрируется прибором, включенным в измерительную схему.

Кривая зависимости сигнала детектора от времени и объема соответствующего компонента, вышедшего из разделительной колонки, называется хроматограммой. Выход компонентов фиксируется на хроматограмме в виде пиков, расположенных на нулевой линии, регистрируемой сигналом детектора во время выхода из колонки чистого газа-носителя. Такая хроматограмма является источником и количественной и качественной информацией об анализируемой 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 [3].

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. На диаграмме прибора изображается хроматограмма (рис. 3а).

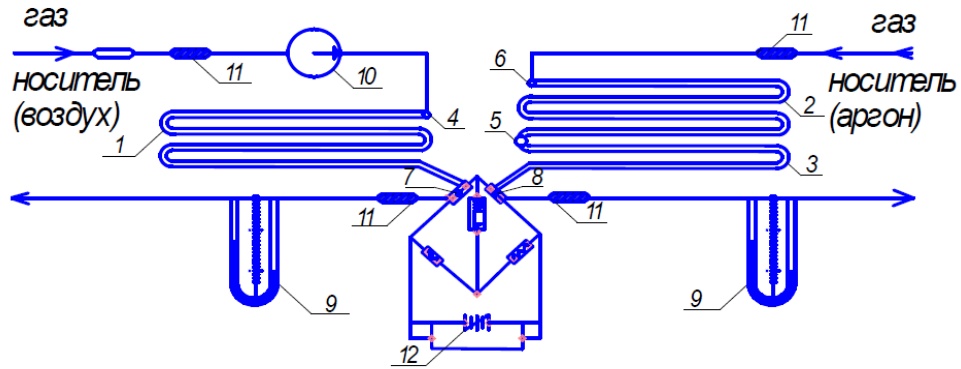


Рис. 2. Принципиальная схема хроматографа «Газохром-3101»

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

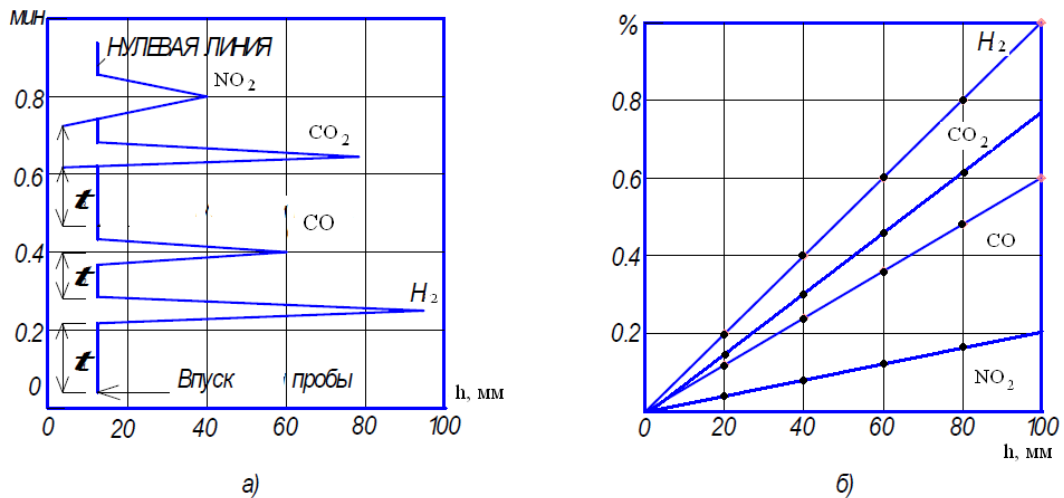


Рис. 3. Хроматограмма и калибровочный графики:

- а) диаграмма самопишущего прибора (хроматограмма);
- б) калибровочные графики на оксид углерода и водород

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 каждой анализируемой смеси зависимости высоты пика от концентрации данного компонента. По результатам калибровки получают калибровочный график для H_2 и CO показан на рисунке 3б.

В практике газового анализа получил наибольшее распространение метод абсолютной калибровки хроматографа. Применительно для CO_2 калибровка производится следующим образом:

- получаем углеводород CO_2 и заполняем им один из сосудов аспиратора Коро;
- в соответствии с инструкцией по обслуживанию [3] запускаем хроматограф по варианту при использовании в качестве газа-носителя воздуха;
- с помощью дозатора (медицинского шприца на 10 см^3) набираем $1 \text{ см}^3 \text{ CO}_2$;
- разбавляем в дозаторе пробу CO_2 воздухом требуемой концентрации;
- через дозирующее устройство 4 вводим шприцом пробы, разбавленные воздухом до концентраций 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0%;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- рассчитываем калибровочный коэффициент по CO_2 и строим калибровочный график.

Аналогично производится калибровка хроматографа по CO и H_2 . Одновременно с помощью секундомера определяется время выхода каждого компонента H_2 , CO и CO_2 на хроматограмме τ_{H_2} , τ_{CO} и τ_{CO_2} .

Калибровка хроматографа производится периодически перед каждой серией испытаний.

Обработка результатов эксперимента. При газовом анализе смеси продуктов сгорания неизвестного состава на хроматограмме обрабатываются только те пики, у которых время выхода соответствует времени выхода определяемых горючих компонентов H_2 , CO и CO_2 .

Появившиеся на хроматограмме пики с другим временем выхода не обрабатываются. Например, из-за изменившегося соотношения N_2/O_2 в газе-носителе (воздух) может после пика H_2 появиться пик N_2+O_2 .

Для проведения экспериментальных исследований выбраны следующие двигатели внутреннего сгорания: ВАЗ 2106 1,6; SQR477F 1,6 (автомобиль 3A3 Forza); Gamma 1,6 (автомобиль Hyundai i30). Данные двигатели имеют равный рабочий объем но разный класс по выбросам в атмосферу. Исследования проводились на холостом ходу и эксплуатационной температуре двигателей.

По экспериментальным данным построены диаграммы вредных веществ и величина их концентрации соответственно выбранных двигателей (рис. 4).

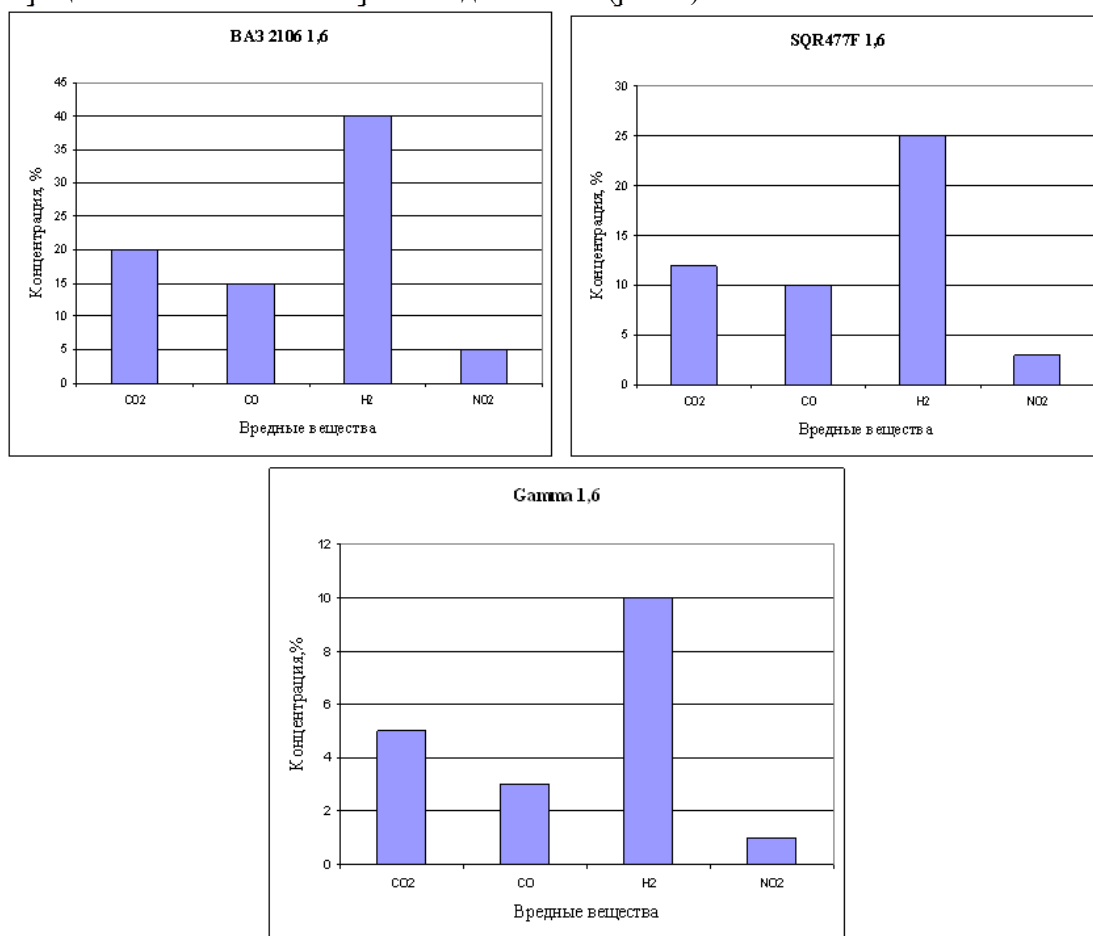


Рис. 4. Вредные вещества выхлопных газов и величина их концентрации

Анализ экспериментальных данных показал, что двигатели поколения ЕВРО 5 (автомобиль Hyundai i30) имеют меньшие показания вредных веществ в выхлопных газах, так как они снабжены электронным блоком управления двигателем и усовершенствованной системой нейтрализации отработавших газов.

Основными направлениями работ в области уменьшения выбросов автотранспорта в атмосферу являются:

- создание и расширение производства автомобилей с высокоэкономичным и малотоксичным двигателями;
- развитие работ по созданию и внедрению эффективных систем нейтрализации отработанных газов;
- снижение токсичности моторных топлив;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

г) развитие работ по рациональной организации движения автотранспорта в городах, совершенствованию дорожного строительства с целью обеспечения безостановочного движения на автомагистралях.

Решения энергетической проблемы автомобильного транспорта - это создание альтернативных видов топлива. Новое горючее должно удовлетворить очень многим требованиям: иметь необходимые сырьевые ресурсы, низкую стоимость, не ухудшать работу двигателя, как можно меньше выбрасывать вредных веществ, по возможности сочетаться со сложившейся системой снабжения топливом и другие.

Выводы:

- 1) С помощью газовой хроматографии можно определить опасные вещества отработавших газов автотранспорта и величину их концентрации;
- 2) Самыми опасными выбросами автомобильного транспорта, которые попадают в атмосферу с выхлопными газами, являются окислы углерода и окислы азота;
- 3) Основными направлениями работ в области уменьшения выбросов автотранспорта в атмосферу являются:
 - а) создание автомобилей с высокоэкономичным и малотоксичным двигателями;
 - б) создание и внедрение эффективных систем нейтрализации отработанных газов;
 - г) рациональная организация движения автотранспорта в городах.

Інформаційні джерела

1. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів. Монографія / Матейчик В.П. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
2. Апостолук С.О. Промислова екологія / Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апостолук А.С. – К.: Знання, 2003. – 475 с.
3. Хроматограф «Газохром-3101» Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1981.

Авер'янов В.С. к.т.н., Шматко Д.З. к.т.н., Скобельський Р.Є. магістрант
Дніпровський державний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ АВТОТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ ХРОМАТОГРАФІЇ

В даній роботі розроблена методика визначення шкідливих речовин, які викидаються з вихлопними газами в атмосферу, методом хроматографії. Визначені шкідливі викиди двигунів внутрішнього згоряння та їх концентрації. Небезпечними викидами автотранспорту в атмосферу є оксиди вуглецю і оксиди азоту. Розроблено основні напрямки робіт в області захисту атмосфери від забруднення викидами автотранспорту.

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

V. Averyanov, D. Shmatko, R. Skobelsky
Dneprovskiy State Technical University

THE DEFINITION OF HARMFUL SUBSTANCES OF EXHAUST GASES OF VEHICLES CHROMATOGRAPHY

In this work the method of definition of harmful substances that are emitted with the exhaust gases into the atmosphere, by the method of chromatography. Determined harmful emissions of internal combustion engines and their concentration. Dangerous motor vehicle emissions to the atmosphere are oxides of carbon and oxides of nitrogen. Developed main directions of works in the field of protection of atmosphere from pollution by emissions of motor transport.

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

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР

У статті розглядаються окремі узагальнюючі складові досліджень, що проведені із застосуванням засобів вимірювальної техніки, які використовувалися для вимірювання електромагнітних випромінювань від базових станцій мобільного зв'язку, що розміщені в лабораторії Луцького НТУ та польових умовах.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, напруженість електричного поля, напруженість магнітного поля, щільність потоку енергії, базова станція мобільного зв'язку.

Вступ. Електромагнітне випромінювання (далі-ЕМВ) візуально не спостерігається, тому переважна більшість людства майже не приділяє йому уваги. Проте, якщо умовно провести глобальні вимірювання «впливу ЕМВ», всіх пристроїв, що виділяють ці складові на нашій планеті, то сумарний рівень природного геомагнітного поля буде перебільшеним у рази. Все більшою загрозою є і те, що ці впливи не зменшуються а навпаки, стрімко зростають і створюють катастрофічні наслідки для всіх біологічних структур і в першу чергу людству [1].

Постановка проблеми. У науковій літературі накопичено достатньо інформації щодо впливу ЕМВ на біологічні структури як окремого сегменту загальних негативних елементів, що мають місце в природі. Проаналізувавши сучасний екологічний стан, що склався в світі, Всесвітня організація здоров'я включила цю проблему до числа найбільш актуальних для людства. Американські і шведські вчені незалежно один від одного встановили безпечну для здоров'я межу інтенсивності електромагнітних полів – 0,2 мкТл (мікроТесла).

Для належного сприйняття матеріалу розглянемо коротку фізичну характеристику ЕМВ. Електромагнітні хвилі мають великий радіус розповсюдження, можуть мати безперервну або імпульсну форму з різною потужністю і характеризуються векторами напруженості електричного і магнітного полів. За частоти коливань нижче 300 МГц в якості характеристики ЕМ-поля приймається силова характеристика - напруженість електричного поля, В/м або напруженість магнітного поля - А/м. За частоти коливань вище 300 МГц поле оцінюється енергетичною характеристикою - щільністю потоку енергії (ЩПЕ), Вт/м² (або її похідними мВт/см², мкВт/см²). Для кількісної оцінки поглинутої енергії введено поняття питомої поглинутої потужності - ППП (англ. SAR – specific absorption rate). Під ППП розуміють кількість поглинутої потужності, що припадає на одиницю маси тіла. Це усереднена величина, яка характеризує швидкість надходження енергії НВЧ-поля в поглинаюче тіло і представлена як потужність віднесена до об'єму - Вт/м³ (мВт/см³) або до маси - Вт/кг (мВт/г). Встановлено, що максимально опосередкованою для терморегуляції людини буде величина - 4 Вт/кг, а максимально-допустима норма (МДН) відповідно до маси тіла - 0,4 Вт/кг. Проблема метрологічної оцінки поглинутої людиною ЕМ потужності (і енергії) досить складна. Обладнання для вимірювання ЕМ потужності людиною, опроміненим НВЧ-полем у вільному просторі має високу вартість тому їх кількість у світі складає невелику кількість. Примітка: за даними друкованих джерел оцінку впливу проводять по виміряній падаючій на людину МДН і на її основі методами математичного моделювання розраховують ППП.

Постановка завдання. З метою дослідження і порівняння були проведені вимірювання ЕМВ із застосуванням ЗВТ, на двох базових станціях (БС) мобільного зв'язку, розміщених в лабораторії Луцького НТУ та БС і мобільних станціях (МС), розташованих в польових умовах.

Викладення основного матеріалу. Вимірювання в лабораторних умовах проводились (в режимі неробочого ходу) при відключеному антенно-фідерному обладнанні приладом MIC-98195 виробництва компанії MIC Meter Industry. Одиниці вимірювання – напруженість, В/м, та щільність потоку енергії, мкВт/см². При вимірюванні показників безпосередньо біля БС максимальна напруженість, зафіксована приладом, становила 0,395

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

В/м, а усереднене значення величини - (0,24-0,3) В/м (240-300мВ/м). Щільність потоку енергії при відключеному антенно-фідерному обладнанні була незначною – в середньому від 0,007 до 0,012, максимально – 0,05 мкВт/см². Зауважимо, що діючі санітарні норми встановлюють максимально допустиме значення для стаціонарних джерел у 2,5 мкВт/см². Магнітна складова випромінювання визначалась за допомогою приладу ТМ-1390. Безпосередньо біля БС діапазон значень склав (0,18-0,38) мкТл, показники на відстані 1 метр від БС-1 і БС-2 були ідентичними – 0,09 мкТл, а біля антени РРЛ – 0,25 мкТл.

Найжорсткіші вимоги з відомих обмежень по магнітному полю становлять 0,4 мкТл (Нідерланди), в багатьох інших країнах вони коливаються від 1 до 50 мкТл. Як видно, виміряні значення ЕМВ у лабораторії не перевищують жодних допустимих санітарно-гігієнічних нормативів як за електричною, так і за магнітною складовою поля. Затверджені в Україні санітарні норми захисту населення від впливу ЕМВ є одними з найжорсткіших у світі (встановлений гранично допустимий рівень (ГДР) густини потоку енергії для передавальних об'єктів становить 2,5 мкВт/см². Для порівняння нормативні значення ЕМВ в різних частотних діапазонах наведені в табл. 1-3 [6].

Таблиця 1

Максимально допустима напруженість електромагнітного випромінювання радіочастот в діапазоні (0,6-300) МГц на робочому місці і в місцях можливого розташування персоналу, пов'язаного професійно з впливом ЕМП

Складові поля, по яких оцінюється його взаємодія, і діапазон частот, МГц	Гранично допустима напруженість протягом робочого дня
Електрична складова:	
0,06-3	50 В/м
3-30	20 В/м
30-50	10 В/м
50-300	5,0 В/м
Магнітна складова:	
0,06-1,5	5,0А/м
30-50	0,3 А/м

Зауваження: інтенсивність електромагнітного поля в діапазоні частот (0,06-300) МГц на робочих місцях оцінюється збільшенням напруженості його складових – електричної і магнітної в вольтах на метр (В/м) і амперах на метр (А/м).

Таблиця 2

Гранично допустима щільність потоку енергії електромагнітного поля радіочастот в діапазоні 300 МГц -300 ГГц і час перебування на робочих місцях і в місцях можливого розміщення персоналу, пов'язаного професійно з взаємодією ЕМП

№ п/п.	Щільність потоку енергії		Допустимий час перебування протягом робочого дня
	Вт/м ²	мкВт/см ²	
У всіх випадках (крім випадків випромінювання від обертових і скануючих антен БС і ПС)			
1	До 0,1	До 10	Робочий день
2	0,1-1,0	10-100	Не більше 2 год.
3	1,0-10	100-100	Не більше 20 хв.
У випадках випромінювання від обертових і скануючих антен (БС і ПС)			
4	До 1,0	До 100	Робочий день
5	1,0-10	100-1000	Не більше 2 год.
За наявності рентгенівського випромінювання чи високої температури повітря в приміщенні (вище 28 °С)			
6	До 0,1	До 10	Робочий день
7	1,0	100	Не більше 2 год.

Зауваження: 1. Інтенсивність електромагнітного поля в діапазоні 300 МГц - 300 ГГц і час перебування на робочих місцях оцінюється значенням щільності потоку електроенергії в ватах на квадратний метр чи в мікроватах на квадратний сантиметр (Вт/м², мкВт/см²). 2. В інший робочий час гранично допустима щільність потоку енергії ЕМП не повинна перевищувати 0,1 Вт/м². 3. Вказані норми допустимі за умови використання захисних

Таблиця 3

Гігієнічні норми впливу на людину електричного поля струмів промислової частоти	
Напруженість електричного поля, кВ/м	Час перебування людини в електричному полі протягом 1 доби, хв., не більше
Менше 5	Без обмежень
Від 5 до 10	180
Більше 10 до 15	90
Більше 15 до 20	10
Більше 20 до 20	5

Зауваження: 1. Вказівки таблиць поширюються на електричне поле створене струмами частотою 50 Гц за напруги 400 кВ і більше. 2. Зазначені норми поширюються на персонал, який за умовами роботи систематично (протягом кожного робочого дня знаходиться в зонах електричного поля струмів промислової частоти). 3. Зазначені норми дійсні, якщо інший час людина знаходиться в місцях, де напруженість електричного поля дорівнює або менша 5 кВ/м, і якщо виключена можливість дії на людський організм електричних зарядів.

В польових умовах заміри проводились у зонах впливу різних БС (для п'яти різних операторів) на території Волинської області [2]. Фіксувались значення напруженості електромагнітного поля та щільності потоку енергії (приладом ПЗ-17). Всього дослідженням було охоплено більше 30 БС, обстежено 11 моделей МС різних виробників у різних режимах роботи та на різних відстанях від обслуговуючих БС. При замірах поблизу БС не було виявлено перевищень допустимого рівня ЕМВ, у більше 80% випадків він був меншим 0,15 ГДР. Значною мірою це пов'язано із правильним встановленням БС, коли передавальні сектори спрямовуються у напрямках повз будинки, відповідно точки замірів (дахи і верхні поверхи прилягаючих споруд) виявлялись поза основним потоком ЕМВ. Але у двох випадках зафіксований рівень наближався до ГДР ($2,2-2,35 \text{ мкВт/см}^2$) на невеликих ділянках, розміщених навпроти нестандартно нахилених та низько розміщених антенно-фідерних пристроїв. Очевидно, що для кожної конкретної БС необхідне окреме дослідження рівнів ЕМВ за умови різної передавальної потужності, завантаженості мережі тощо. Значення рівня ЕМВ, створюваного МС, коливалась у дуже широких межах – від 0,02 до 240 мкВт/см². Найінтенсивніше випромінювання МС очікувано спостерігалось у режимах прийому виклику і користування мобільним інтернетом, а також на значно віддалених від БС, сильно екранованих територіях. Велика амплітуда отримуваних значень та значна їх залежність від кількох динамічних факторів ставить певні вимоги до організації таких вимірювань. На думку фахівців [2], важливим є дотримання таких складових: визначення конкретного місцезнаходження обслуговуючої БС на досліджуваній території; виявлення конкретного місця розміщення антени у досліджуваній моделі телефону, відключення за наявності додаткових антен (Bluetooth, GPS); вибір точок для замірів на різних відстанях до БС за двома напрямками через 60° (один з них вздовж спрямування передавального сектору); на однаковій відстані від БС вибір місця замірів з різними гіпсометричними та екрануючими характеристиками; підбір часу вимірювань для охоплення як стандартних, так і пікових навантажень на мережу; врахування можливості періодичного регулювання потужності БС операторами; забезпечення достатньої вибірки замірів за рахунок кількості точок, різного часу та повторюваності вимірювань.

Врахування вказаних особливостей дозволить значно підвищити точність та репрезентативність отримуваних результатів вимірювань величин ЕМВ, що створюється пристроями мобільного зв'язку.

Висновки. Проведені дослідження показують, що ЕМВ мають різні величини електромагнітних складових залежно від умов, а отже їх наслідки можуть бути різними. Можливо, необхідно розробити концепцію комплексного дослідження таких впливів у різних регіонах з урахуванням сумарних ЕМВ та інших факторів – наслідків Чорнобильської катастрофи, забруднюючих викидів вуглецю тощо, та створити науково-дослідний центр для дослідження висвітлених проблем за умови забезпечення відповідним фінансуванням і обладнанням.

Інформаційні джерела

1. Баховський П.Ф., Окремі аспекти дослідження впливу електромагнітних випромінювань

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- на біологічні структури в регіонах, що постраждали від наслідків Чорнобильської катастрофи. Луцький національний технічний університет / Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енергетична безпека навколишнього середовища», м. Луцьк, 2013. - с.40-42.
2. Федонюк М.А. До питання організації вимірювань рівнів електромагнітних випромінювань пристроїв мобільного зв'язку. М. Федонюк, А. Федонюк, А. Цалковський. Матеріали IX міжн. нук-практ. конф. «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів-2010». Кременчук, КНУ ім. М. Остроградського, 2010. - с. 149-150.
3. Баховський П.Ф., Євсюк М.М. Ймовірний підхід до захисту базових станцій мобільного зв'язку від впливів коротких замикань, що виникають на високовольтних ЛЕП. Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут» / Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи, м. Київ, 2013. - с. 59-60.
4. Бурлаков А.Б., Падалка С.М., Супруненко Е.А., Влияние внешних электромагнитных воздействий на процессы самоорганизации сложных биологических систем / Материалы конференции «Этика и наука будущего». Ежегодник «Дельфис 2003». М., 2003. - с. 252-255.
5. Г.М. Франчук, д.т.н., проф., А.С. Конахович, асп. Аналіз екологічної безпеки систем стільникового зв'язку за фактором електромагнітного випромінювання. / ISSN 1813-1166. Вісник НАУ, 2010, №2. - с. 114 - 119.
6. П.А. Долин, Справочник по технике безопасности / Издание пятое, переработанное и дополненное. Москва, Энергоатомиздат, 1982. - с. 529-533, с. 591.
7. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань / №239 від 1.08.96.
8. Electromagnetic fields and public health: mobile phones // <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193>

П.Ф. Баховский, к.т.н., Н.Н. Евсюк, к.т.н. Лишук В.В., к.т.н.

Луцкий национальный технический университет

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В СИСТЕМАХ СОТОВОЙ СВЯЗИ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В статье рассматриваются отдельные обобщающие составляющие исследований, проведенных с применением средств измерительной техники, которые использовались для измерения электромагнитных излучений от базовых станций мобильной связи, расположенных в лаборатории Луцкого НТУ и полевых условиях.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля, плотность потока энергии, базовая станция мобильной связи.

P. Bakhovskiy, M. Evsyuk, Lyshuk V.

Lutsk National Technical University

THE MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC RADIATIONS IN SYSTEMS OF MOBILE COMMUNICATIONS FOR THE PURPOSE OF PROVIDING ECOGENIC SAFETY OF TRICKY BIOLOGICAL STRUCTURES

In paragraph considered some components of generalizing studies conducted with the use of measuring instruments and used for measuring electromagnetic radiation from base stations of mobile communications that are placing in the Lutsk National Technical University's laboratory and in the field conditions.

Keywords: electromagnetic radiation, electric field's tension, magnetic field's tension, energy flux density, the base stations of mobile communications.

DEFINITION OF MACHINABILITY MATERIAL IN PROCESS SYSTEMS

In most cases, the creation of diagnostic systems requires significant costs of money in purchasing expensive hardware and software for processing diagnostic results obtained, that prevents a widespread of these systems on most manufacturers in our country. The proposed method of diagnosing of processing for multi-machine improves the efficiency an automatic data collection and analysis of information for solving a determining task of the technical condition of a machining FMS during processing details, as well as early detection and localization of errors in processing for improving the reliability and efficiency of the machining. The above-mentioned advantages allow to reduce costs, so as to implement this technique there is no need to use the complicated expensive equipment. Also, a staff training process takes a little time, these advantages reduce an amount of defective details and the number of prematurely broken tools or malfunctioning equipment. Given all the advantages of this method of diagnosing machining process on the multipurpose machine composed of the flexible production lines, these reduce the cost of parts while increasing a precision manufacturing of parts.

An important task of instrument making is the automation of processes through the extensive use of machine tools with numerical control (CNC) and the organization on their basis of flexible manufacturing systems and flexible production units.

The feasibility of using CNC determined by the reduction in the number of workers, increased technological flexibility and capabilities of each workplace through enhanced versatility of these machines, saving production areas, improving the quality of manufacturing parts, and simplification of conditions. In addition, based on these tools is the ability to create flexible, quickly-adjusting production complexes, which is especially important in small-scale production. The use of flexible manufacturing systems based on new computers with the introduction of advanced automatic process control systems (APCS) and efficient technical systems of identification will potentially move to a fully automated production technology, hence, without a human being.

However, a widespread use of such promising multifunctional equipment and its efficient operation are being constrained by a number of significant reasons, including:

- The lack of high-quality software that takes into account all the technological characteristics of cutting its many parametric functional dependence between them.
- Low reliability of the machining process, which refers to a number of unreliable, cutting tool wear.
- The lack of such automated CNC feedback systems that are based on information about the progress of processing would increase the reliability of such technological treating systems (CBT).

The problem of improving the reliability of these machines can be solved by creating efficient automatic identification systems and process control treatment, receiving current information about the technical condition of the cutting process and issue the appropriate control action on the CNC machine.

Before we formulate the main goals and objectives of determining machinability, stop briefly on some of the concepts of reliability theory which are most involved in the subject of further discussion. Under *the object* will be meant system and its components that to be studied (study). Suppose further that at any time the facility is in one of two different, mutually exclusive conditions: performance or failure. *The efficiency* - this is a state facility at which it is able to perform specified functions, keeping values within defined parameters set by regulatory and technical documentation. Accordingly, under the refusal, it would be meant the violation performance of the object. It should be noted that the concept of failure (efficiency) is largely conditional and should be closely associated with features of construction and operation of the object.

The well-known reliability theory that reliability laid in the design, provided and supported in production when operating fully applies to those affected technical objects, which are detection system machinability materials in technological system, and which usually consist a large number of interacting components and subsystems and perform a wide range of critical functions in the management of complex flight conditions that are changing. In practice, the use of different techniques to improve reliability - creating strong elements that ensure favorable treatment of their work, and backup components and subsystems, creating circuits with reduced effects of failures and so on. One

of the effective ways to improve the reliability of ACS is associated with the development and use of special equipment and controls that provide the ability to identify and eliminate failures which caused them adverse effects both during manufacture and in the operation of the equipment. We further understood by some set of machinability evaluation test, computational and logical operations on the results of the implementation of which can be judged the actual state of the controlled object and, therefore, take the necessary steps to manage. The most complete function evaluation of processing is realized with ACS, which performs the above operations and decision-making about the efficiency of the facility for timely action on it without the direct participation of the person (operator). The undoubted advantages of ACS include the possibility of managing girth control virtually any number of components and devices, expanding the test operation, high speed, high accuracy etc.

Depending on the purpose of managing their construction and features, not all of these problems of workability evaluation should be treated and resolved in the same volume. However, the effectiveness of solutions to each of these tasks largely depends on the understanding of the processes that occur in a controlled facility; how closely the methods and means of assessment related to the specific workability both of tasks to manage the data object.[1,2,5,10]

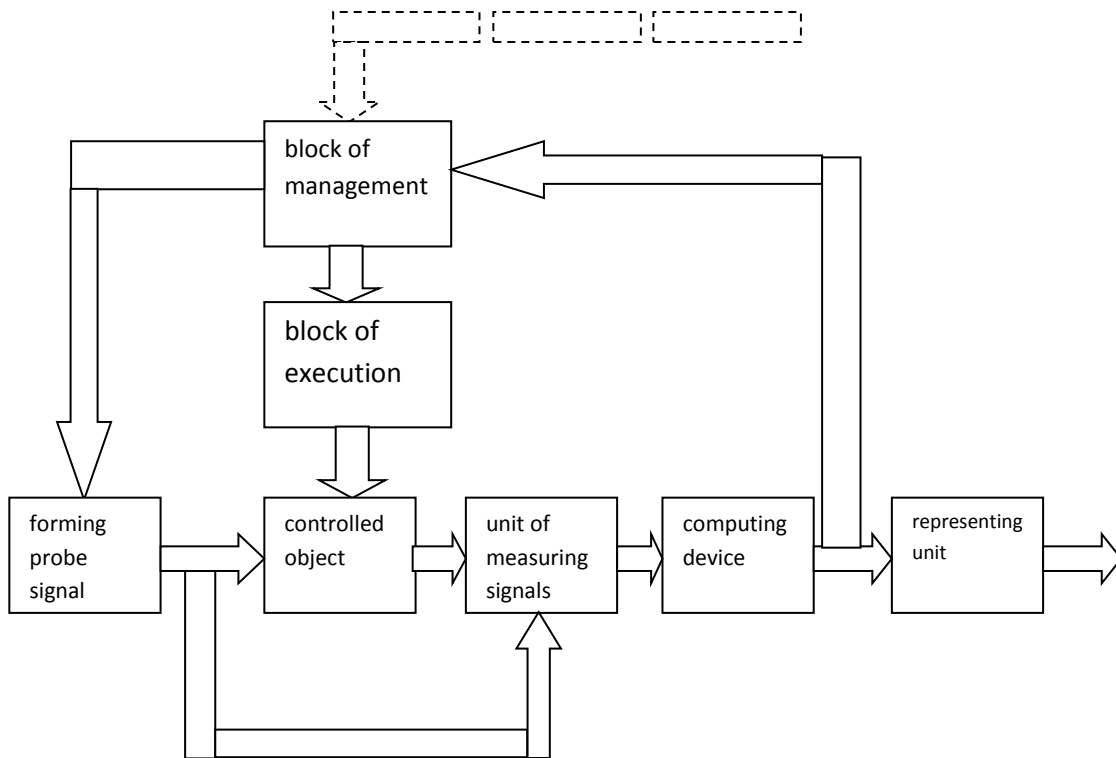


Fig. 1. Generalized structure of ACS

Just as the design of any ACS begins with a study equations that describe the job management object (a given part of the system), as a necessary step towards the construction of ACS is to obtain a mathematical model of a control object. Indeed, only by understanding the essence of the basic phenomena occurring in the facility, and having at least an approximate mathematical description of the controlled processes taking into account the mutual influence of the most essential factors, you can talk about the selection of informative parameters of object, rational task of needs to systems-

We will consider further that the object of control can be presented in the form of diagrams, present in Fig. 2. Here the $x_1, x_2, \dots, x_k$ input influences (probe signals), that determine the mode of operation of the facility and make a direct impact on the value of its output (controlled) coordinates $y_1, y_2, \dots, y_M$. Turning to the matrix notation, it is more convenient to talk about vector input action $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)^T$ and a vector of target coordinates of the object $y = (y_1, y_2, \dots, y_M)^T$, where the symbol t denotes the transpose operation vector-line. All of these quantities are generally a different physical nature, however it is important to emphasize the fact that constructive performance object, as a rule, allows to change all or some action $x_1, x_2, \dots, x_k$ by the appropriate law (for example, using special generators probe signals), and the original coordinates $y_1, y_2, \dots, y_M$. measure using appropriate gauges (measuring devices), largely due to the technical state of object controls and, therefore, can be used to analyze it. In Fig.2. is listed as influences ("error") $z_1, z_2, \dots, z_L$, which form

a vector "error" $z = (z_1, z_2, \dots, z_L)^T$ and reflecting the impact of the environment, power supply, internal noise and other uncontrollable factors on the behavior of the object, and therefore to control outcomes.

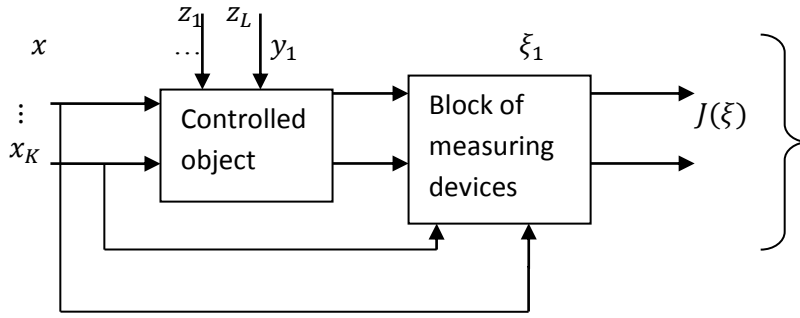


Fig. 2. The scheme of measurement of monitored parameters

The mutual relationship between the vectors x in and z , the components of which are functions of time, generally defined the operator equations

$$y(t) = A(x(t), z(t)) \quad (1)$$

This means that the operator A set of mathematical operations, in a result of certain vector function $x(t)$ and $z(t)$ is associated with some vector function $y(t)$. The most simple form A operator takes a linear object (system), since the latter can be written

$$y(t) = Ax(t) + A_z z(t), \quad (2)$$

where A and A_z - in turn, linear operators which obey the superposition principle. Examples of linear operators can bring the following ways of describing object:

a) in the time domain - using differential equations

$$\sum_{i=0}^m Q_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^k P_j x^{(j)}(t) + \sum_{h=0}^l V_h z^{(h)}(t); \quad (3)$$

b) using pulse transition functions

$$y(t) = \int_0^t \varphi(t - \tau) x(\tau) d\tau + \int_0^t \varphi_z(t - \tau) z(\tau) d\tau; \quad (4)$$

c) in the frequency domain - through matrix gear

$$Y(s) = \Phi(s)X(s) + \Phi_z(s)Z(s) \quad (5)$$

d) using frequency characteristics

$$Y(j\omega) = \Phi(j\omega)X(j\omega) + \Phi_z(j\omega)Z(j\omega). \quad (6)$$

The equations (3) ... (6), the following notations are used: Q_i, P_j and V_h - matrix of coefficients dimensions $M \times M$, $M \times K$, $M \times L$, in accordance t , k and l - order derivatives for senior vectors $y(t)$, $x(t)$ and $z(t)$; $\varphi(t)$ and $\varphi_z(t)$ Pulse transition (weight) function of the object at the inputs x and z ; $Y(s)$, $X(s)$, $Z(s)$ - column vector images by Laplace output coordinate, input and revolving influences; $\Phi(s)$ and $\Phi_z(s)$ - TX Matrix object dimensions $M \times K$ and $M \times L$. Equation (6) follows directly from (5) when substituted $s = j\omega$.

Note that the above descriptions herein are equivalent and can be easily obtained with each other. However, if the object of control has essentially nonlinear properties, then the use of equations (2) ... (6) for its mathematical description is possible only in cases when the subject is studied in the "small deviations", ie when the vector components x, y, z - deviations are small relative to some baseline (nominal) values.

Returning to Fig. 2, focus more on issues related to the peculiarities of the formation of the vector control parameters $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)^T$ with a block measuring devices. The structure of the current vector includes the settings that fully cover the degree of efficiency of the object, and hence is very critical to the occurrence of certain failures (faults). These parameters can be either individual components of the vector of initial coordinates $y = (y_1, y_2, \dots, y_M)^T$ object control (ACS) and its intermediate position, describing the technical condition of the most critical elements (components and subsystems). The physical nature of monitored parameters $\xi = \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ also varies: some are meaningful levels of temperature, pressure, speed, etc. (Under the control Sula), others - levels of

voltage, current, power, etc. (In fact the control electronic units ACS), others are generalized indicators of quality machinability materials (bandwidth, time control and so on.) And expressed in terms of value of output coordinates $y_1, y_2, \dots, y_M$ and input action $x_1, x_2, \dots, x_k$ object of control. Finally, controlled parameters can be considered as formal parameters describing a particular type of operator facility (eg ratios of its differential equations (3) or transmission matrices (4). In the latter part of the task of monitoring tasks is to identify the objects on the results of observations of vectors x, y , moreover, determination of these parameters is usually accompanied by a large volume of payments and is transmitted through a specialized computing device or CVM.

As repeatedly stressed, the object is workable if its basic characteristics meet the requirements, thus ensuring implementation of defined functions. In fact, these requirements must be considered as limiting the possible deviation of operator AND controlled object relative to a reference (model) operator A_{ET} , providing solutions object of his main tasks in settlement conditions. Geometrical conditions of performance can be interpreted as follows:

object is functional, if the current point with coordinates $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ in N - dimensional space controlled parameters belongs to the domain of acceptable values (tolerance area) D :

$$\xi \in D. \quad (7)$$

Failure to comply with condition (7) means disability object, ie its refusal.

Most simply limits of the permissible area D are determined when the controlled parameters $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ object assumed independent. This area is hyper form with sides parallel to the coordinate axes and is defined by a set of inequalities

$$a_i \leq \xi_i \leq b_i, (i=1, 2, \dots, N), \quad (8)$$

and the control capacity of the facility is to write one comparison of the monitored parameters ξ_i with their limited values a_i, b_i . If monitored parameters $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ is statistically dependent (which is more or less true for all real objects), the form of admissible domain D can significantly be complicated. For a more precise description of this area it is necessary to have information about the law of distribution $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ as a random function, and also about their mutual impact on the effectiveness of the functioning of the facility. This and other related issues are discussed in detail in the next section from the standpoint of the general theory of statistical classification. In practice, the permissible construction area D is often carried out on the results of mathematical modeling or a series of field tests controlled object.

Seems interesting the use for the control of so-called "generalized" parameter J which is introduced as a function of monitored parameters $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ and Generally speaking, may not have a specific physical meaning. The main requirement for the choice of the generalized parameter: it should simply be calculated, and its value must, if it is possible, accurately represent the actual stock performance of object [9]. As an example, the following expression will be represented

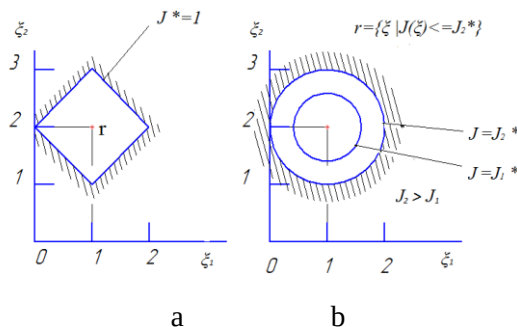
$$J = \sum_{i=1}^N c_i |\xi_i - \xi_i^{\text{norm}}| \quad (9)$$

where ξ_i^{norm} - the nominal values of controlled parameters; c_i - weight (dimensional) factors that take into account the contribution of each parameter ξ_i the formation of a generalized parameter J . If the permissible area defined by

$$J = J^*, \quad (10)$$

where J^* - set (threshold) value of a generalized option J , It takes the form N - hyper dimensional space options $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, Whose facets are not parallel axes. Thus, inequality (10) in $c_1 = c_2 = 1, \xi_1^{\text{norm}} = 1, \xi_2^{\text{norm}} = 2, J^* = 1$ sets the region shown in Fig .3, a. Another example - the expression

$$J = \sum_{i=1}^N c_i (\xi_i - \xi_i^{\text{norm}})^2 \quad (11)$$



defines the so-called "elliptical" model of object performance indicator (if $c_1 = c_2 = \dots c_N$ This model becomes the "center"). Hypersurface of equaling levels corresponding values $J(\xi) = J^*$ representing hiperelipsoyidy placed in each other. If we take in (11) $c_1 = c_2 = 1$, $\xi_1^{norm} = 1$, $\xi_2^{norm} = 2$, then get a set of concentric circles (Fig. 2.4 b), one of which is below the tolerance area T on the plane (ξ_1, ξ_2) . Thus, the control object on set parameters $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ can be replaced the test execution is only of one condition (10). Moreover, watching the changing of the generalized parameter $J(t)$ In time for its size can predict the state of the controlled object at a future time, which is also one of the advantages of this approach.

Mathematical models of control objects discussed above are defined with continuous analytical dependencies between source (in, ξ) and incoming (x, z) variable and, therefore, often called analytical. In addition to this type of models, there are logical models in which vector components x, y, z can take only one of two integer values (0 or 1). The value of "1" indicates that the corresponding continuous variable (input or output object) is in the area of permissible values, and "0" - indicates that this variable has moved beyond the area. Relations between integer variables that create a logical model, expressed in terms of Boolean functions and is governed by the laws of the algebra of logic. Logical models used in solving problems of diagnostic control when focused on the qualitative analysis of the interaction of individual units that make up the object to identify the locations and causes of failure.

When making ACS for managing digital objects (we will primarily relate to these objects specialized digital controllers and control systems based on an onboard digital computer) must be borne in mind another characteristic circumstance. The information to be processed by means of these devices may be distorted as a result of certain hardware failures, and due to short-term disruptions caused by the influence of internal or external interference. At a sufficiently high level of reliability of equipment controlled intensity failures can significantly exceed a failure rate [2,3,5]. Thus, the ACS should provide not only the definition of the technical condition of the object, but also control of fidelity provided of this information, and in the presence of failures - the possibility of the elimination of their consequences. Identify the impact of failures can also be carried out in the framework of the tolerance control, i.e. with regard to the control of the relationship type (7), however, the correction of distortion in your information requires the use of special measures, based on software or temporal redundancy.

Research of mathematical model of the controlled object allows you to specify the most significant properties and characteristics of the ACS, reasonably set requirements for these characteristics, specify those quantitative indicators, which can be taken as a basis in the design stage of the ACS and used to assess the effectiveness of its operation. List further the main features of the ACS, accompanying them with the necessary short explanations.

1. The completeness (depth) of the control - shows which part of the equipment is seized by a control. As an indicator of the completeness of control can be used, for example, the ratio of the number of monitored parameters N the total number of options N_0 , that uniquely define the technical state of the object

$$F = \frac{N}{N_0} \quad (12)$$

or, similarly, the ratio of the probability of failure Q those elements whose state is manifested through ASA, the total probability of failure Q_0 of the control object

$$F = \frac{Q}{Q_0} = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda_0 t}} \approx \frac{\lambda}{\lambda_0} \quad (13)$$

where λ and λ_0 - accordingly, the failure rate of the controlled object and as a whole [4]. Obviously, completeness of control depends on technical capabilities that are arranged, ACS (the availability of sensors, a memory, and speed of computing device and etc.), and specific character of the object (the higher the price of failure is, the more amount of elements should be covered by the control).

2. *Accuracy* control is one of the main characteristics of ACS, reflecting the degree of confidence in the results obtained in the control. In other words, the accuracy of the control indicates that the degree is being accepted using the ACS solutions correspond to the actual state of the object of control.

On the reliability of the controls, various factors have the influence, including completeness of control, precision measurement of monitored parameters, especially the use of one or another method of control, reliability, and stability of the ACS and its individual units. Taking into account these factors, at any point in time, only one of the following 4 events may take place ($S_1 \dots S_4$):

S_1 -the object is able-bodied and the ACS gives the positive signal, namely "fit";

S_2 - the object is incapacitated, that is in a state of denial and ASA gives the signal "rejection";

S_3 -the object is able-bodied, but the ASA gives the signal "rejection";

S_4 - the object is disabled, but the ASA gives the signal "fit."

Apparently, events S_1 and S_2 correspond to right, but events S_3 and S_4 - erroneous decision taken on the results of monitoring. It is usually assumed that the event S_3 ("False rejection") leads to the appearance of errors of 1st race, and event S_4 ("Undetected refusal") accompanied by mistake of 2nd race. Reliability control D can be defined as the probability of adopting a correct decision

$$D = P \{S_1\} + P \{S_2 = 1\} - P \{S_3\}P \{S_4\} \quad (14)$$

where $P\{S_1\}$ - the probability of an event S_i . In order to calculate the reliability index D the initial data distribution of law controlled parameters must be owned at its disposal, error measurement devices, and controlled safety equipment.

Let α_i - conditional probability that managing records a violation of one of the relations (8), although in reality the object is functional and controlled setting ξ_i satisfies this ratio; that is a false denial on this parameter. Then, counting the inspection results for each parameter ξ_i ; independent, you can find the probability of error of the 1st kind

$$\alpha = P\{S_3\} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i). \quad (15)$$

Similarly calculated probability of error of the 2nd kind

$$\beta = P\{S_4\} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \beta_i). \quad (16)$$

Here β_i - a conditional probability that managing records relevant performance conditions (8) for the controlled parameter when in fact this condition is not observed (ie there are undetected failures). Formulas (15) and (16) are valid only when the control object covered all parameters that determine its technical condition. Reducing the completeness of control results in additional value growth α and β (And, thus, the reliability of control D decreases) as the ratio (8), thus, can not accurately reproduce the actual area performance G . decision of some problems associated with the formation requirements for ASA and its individual units, based on the reliability of a given control is discussed, for example, in [14].

3. ACS important characteristic that makes a significant impact on the reliability of test results is its reliability. From a quantitative point of view, a reliability of ACS conveniently assesses the following indicators:

mean time between failures (MTBF) T_0 ;

probability of failure of $R(t)$ (Or probability of failure $Q(t)$ Within a specified time t ;

average recovery time T_B (For renewable ACS);

availability factor $k_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$.

Technically acceptable and deemed appropriate use of ASA, which probability of failure of the control equipment at least an order of magnitude is less than the actual probability of failure of the controlled object. This demand, in turn, requires rather severe restrictions on the level of complexity and weight and size parameters of the controlled devices. A Reduction of the effects of possible failures of ASA can be achieved by introducing additional means of control, providing performance check of the basic units of ACS with a slight increase in the total volume of the equipment or time control.

4. *Efficient* workability is a measure of the usefulness of control. In general, the effectiveness of control depends on the reliability and performance of ACS, costs of developing, manufacturing and operation, the purpose of the object of control.

For non-renewable ACS as an indicator of efficiency $E(t)$ usually take the chance of the task

$$E(t) = E_0(T) \cdot P(t), \quad (17)$$

where $E_0(T)$ - ideal probability assignment of the task in terms of reliability ACS, which does not require maintenance; $P(t)$ - probability of failure of the control system. If during the operation of the ACS allowed individual breaks associated with the replacement or repair of items that failed, then the expression (2.17) for efficiency $E(t)$ to include another factor is--coefficient of readiness k_r that reflects the readiness of the ACS to the solution of the underlying problem. With this definition of efficiency, the main attention is paid to achieving a given end result using the ASC in terms of many (largely undefined) factors. However, this measure does not give the technical-economic evaluation of

one or another variant of construction of the ACS, as totally ignores nested costs for the creation and operation of control systems.

From this lack of freely formulated a different definition, according to which the efficiency of control refers to the relative magnitude of the costs

$$E = 1 - \frac{C}{C_{los}} \quad (18)$$

where C -additional charges for creating a system of control, including the costs of control and possible wrong decisions made using the ACS; C_{los} the cost of losses to the wrong decisions in the absence of control. The amount C_{los} takes into account the inevitable loss (cost), which is related to the exploitation of the object of control, refused, or, on the contrary, unduly removal facility operating at its capacity. Thus, the effectiveness of the ACS higher than more material effect is achieved from its application, i.e. the more fully reveals the real opportunities of the controlled object.

5. *Performance* of the ACS is determined by the average time T_{contr} necessary to perform the operations control facility. This figure can be represented as a sum of terms that characterize the individual stages of control: connection object generator of probe signals, measurement of vector controlled parameters ξ , comparison of monitored parameters with the boundaries of tolerance fields, making decisions about the efficiency of the facility, the replacement of items that failed on the back, etc.

Depending on the nature of tasks, these terms can have different values and make different contributions to the overall assessment of the performance of ACS. So, while the dynamic control of most of the time occupied by the operation associated with the definition of generalized indices of quality of the ACS or any parameters of its mathematical models for the effects of long-term observations of vectors output coordinates $y(t)$ and the incoming action $x(t)$ —(see fig.3 and equation (3) and (6). Solution of problems finding the defect and predicted control of ACS and its elements are accompanied by a sharp increase in the volume of calculations and, consequently, makes increased demands on the performance of ACS and its individual components. Often these requirements are implemented by creating AUTOMATED SYSTEMS based on CVM, possessing, in addition to the high speed of information processing, and also along other flagged before advantages.

Conclusion. Content analysis of possible tasks workability evaluation and review of existing methods for constructing ACK indicates that these problems must be addressed and solved using various methods of automatic control. The basis of these methods is usually the same principle of tolerance control, whereby the control object is recognized workable if its essential parameters (characteristics) satisfy the relation of type control (7), which defines the limits of tolerance region (tolerance field). However, each of the workability evaluation methods has its own individual characteristics that reflect the specifics of a particular object, especially getting it monitored parameters and limits of tolerance region, the uniqueness of the decision-making algorithms, the possibility of technical implementation of regulatory assets.

Information sources

1. Solomentsev Y.M., Mitrofanov V. H., Protopopov S.P., & Rybkin I.M. (1980). *Adaptivnoe upravlenie technologicheskymy processamy* [Adaptive management process]- М.: "Engineering", p. 536. [in Russian].
2. Yampolsky L.S., Taranenko V.A., & Evdokimov V.D. (1975). *Sredstva i metody avtomaticheskogo upravleniya regimamy obrabotki metalov rezaniya* [Means and methods of automatic control mode of metal cutting] - Kyiv, UkrNINTI, p.60. [in Russian].
3. Ganin N.M., Katkovnik V.Y., & Polishchuk M.N. (1991). *Matematicheskie modeli avtomatizirovanyh proizvodstvennyh system* [Mathematical models of automated production systems] - Leningrad, p. 76. [in Russian].
4. Utkin E.F. [The influence of heterogeneity of structure of alloys machining]
<http://www.ostu.ru/conf/tech2002/sect2/utkin.html>.
5. Republican Interdepartmental Scientific and Technical Collection (1987). *Adaptivnie systemy avtomaticheskogo upravleniya* [Adaptive automatic control system] - Kyiv "Technology", p. 23-27 .
6. Panov A.A., Anikin V.V., & others. (1988) [Metal cutting: A Handbook technologist]- М.: "Engineering", p.680. [in Russian].
7. Dashchenko A. I. (1991). *Avtomatizatsiya procesov mashinostroyeniya* [Automation of engineering]- М.: "High School" p.471. [in Russian].
8. Kotyuk A.F., & Tsvetkov E.I., (1970). *Spectralniy korelyatsionnyy analiz nestatsionarnyyh slychaynyh procesov* [Spectral and correlation analysis of non-stationary random processes] - М.: [Publishing Committee, Standards of Weights and instrumentation], p.100. [in Russian].

9. Ostafievo V.A., Tymchyk G.S., & Shevchenko V.V. (1983). *Adaptivnaya systema upravleniya [Adaptive management. - Mechanization and automation management]* - Kyiv, №1., - p. 29-32. [in Russian].
10. Zayets S. S., (2012). The system of forecasting of processes of machining / S. Zayets S.S, Maksymchuk I.V., & Pedko K.O. Scientific Herald KUEITU. [in Ukrainian].

Вакуленко В.В., Мороз А.В., Заєць С.С., Шевченко В.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ МАТЕРІАЛІВ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

В більшості випадків створення діагностичних систем вимагає витрати значних коштів на придбання коштовного обладнання і програмного забезпечення для опрацювання отриманих результатів діагностики, що не унеможливорює широке поширення даних систем на більшості приладобудівних виробництв нашої країни. Запропонований метод діагностування процесу обробки на багатоцільовому верстаті дозволяє підвищити ефективність систем автоматичного збору та аналізу інформації для вирішення задач визначення технічного стану механообробних систем в ГВС у процесі обробки деталей, а також своєчасне виявлення та локалізація похибок обробки для забезпечення підвищення надійності та ефективності процесу механічної обробки. Наведені вище переваги дозволяють зменшити витрати, так як для реалізації даної методики нема необхідності використовувати складне коштовне обладнання, процес навчання обслуговуючого персоналу займає мало часу, зменшується кількість забракованих деталей, а також кількість передчасно зламаної інструменту чи непрацюючого обладнання. Враховуючи всі переваги даного методу діагностування процесу механічної обробки деталей на багатоцільових верстатах в складі гнучких виробничих ліній зменшується собівартість деталей при підвищенні показників точності виготовлення деталей.

Вакуленко В.В., Мороз А.В., Заєць С.С., Шевченко В.В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В большинстве случаев создание диагностических систем требует затраты значительных средств на приобретение дорогостоящего оборудования и программного обеспечения для обработки полученных результатов диагностики, не исключает широкое распространение данных систем на большинстве приборостроительных производств нашей страны. Предложенный метод диагностирования процесса обработки на многоцелевом станке позволяет повысить эффективность систем автоматического сбора и анализа информации для решения задач определения технического состояния механообрабатывающих систем в ГИС в процессе обработки деталей, а также своевременное выявление и локализация ошибок обработки для обеспечения повышения надежности и эффективности процесса механической обработки. Приведенные выше преимущества позволяют уменьшить расходы, так как для реализации данной методики отпадает необходимость использовать сложное дорогостоящее оборудование, процесс обучения обслуживающего персонала занимает мало времени, уменьшается количество забракованных деталей, а также количество преждевременно сломанного инструмента или неработающего оборудования. Учитывая все преимущества данного метода диагностирования процесса механической обработки деталей на многоцелевых станках в составе гибких производственных линий уменьшается себестоимость деталей при повышении показателей точности изготовления деталей.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ ВИНИКНЕННЯ ШКІДЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ
ФАКТОРІВ В ПРОЦЕСІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
ПРИЛАДО- ТА МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ**

Розглянуто основні вимоги до умов праці в процесі функціонування технологічного обладнання приладо- та машинобудівного комплексу. В статті проаналізовано небезпечних і шкідливих виробничих факторів та основні вимоги безпеки, які мають виконуватися протягом усього технологічного процесу. Досліджено вплив факторів на рівень виробничого травматизму, адже причини травматизму багатогранні та взаємозалежні як з виробничим обладнанням, яке удосконалюється і оновлюється, так і із психофізіологічними характеристиками працівника, а також його фізичним і психологічним станом у даний конкретний момент. Науково-технічний прогрес у верстатобудуванні вимагає постійної уваги до питання безпеки праці в процесі проектування верстатів і при організації роботи на них. Запропоновано комплексний підхід до аналізу виробничого травматизму з урахуванням внутрішніх і зовнішніх факторів впливу.

Ключові слова: виробничий травматизм, верстатник, небезпечний виробничий фактор, шкідливий виробничий фактор, охорона праці, гігієна праці, профілактика травматизму.

Питання охорони праці, промислової безпеки та здоров'я наших громадян у процесі трудової діяльності були завжди пріоритетними та найважливіші, адже людина, її життя та здоров'я є найбільшим багатством і визнаються найвищою соціальною цінністю.

Так як рівень травматизму в галузі машинобудування є досить високий, тому й існує підвищена увага до проблем безпеки праці. Незважаючи на відповідну нормативно-правову базу та здійснення своїх функцій органами виконавчої влади, місцевого самоврядування, територіальними органами з нагляду за охороною праці, профспілками, об'єднаннями роботодавців та підприємців, роботодавцями і працівниками підприємств рівень травматизму не знижується [1]. Данна проблема є актуальною, адже статистика виробничого травматизму є досить невтішною [2-4].

Вагомий внесок у розв'язання проблем поліпшення умов праці, вдосконалення нормативно-правової бази охорони праці, розробки ефективних комплексних заходів щодо безпеки праці, передових методик аналізу та прогнозу стану охорони праці на машинобудівних підприємствах на сучасному етапі зробили такі вітчизняні вчені як: Пістун І. П., Гунченко О. М., Гогіташвілі Г. Г., Климова О. М., Касьянов М. А., Медяник В. О., Проніна Ю. Г., Ступницька Н. В. та інші [5].

В даному дослідженні увага була приділена верстатникам, адже будь-які виробничі процеси на підприємстві невід'ємно пов'язані з використанням верстатів. Тому ризик травмування в такій сфері завжди присутній. Щоб уникнути травмування працівників, а також управляти ризиками необхідно стежити за виконанням вимог безпеки. Наявність шкідливих і небезпечних виробничих чинників призводить до зниження працездатності та збільшення травматизму.

Мета роботи полягає в аналізі небезпечних та шкідливих виробничих чинників, які негативно впливають на працездатність верстатників.

Загальні вимоги безпеки, для верстатів, визначені НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», а додаткові вимоги, викликані особливостями їх конструкції та умов експлуатації, вказуються в нормативно-технічній документації на верстати [6].

Захисні пристрої, повинні захищати працюючого від стружки і змашувально-охолоджувальної рідини. Конструкція захисних пристроїв не повинна обмежувати технологічних можливостей верстата і викликати незручності при роботі, прибиранні, налагодженні, а при відкриванні - не забруднювати підлогу змашувально-охолоджувальною рідиною. У всіх випадках кріплення захисних пристроїв повинно бути надійним і не допускати самовідкривання.

Автомати та напівавтомати обладнають автоматичним блокуванням, що не допускає включення робочого циклу при відкритому захисному кожусі, якщо це може призвести до

травмування. Поверхні захисних кожухів, як і самих верстатів, органів управління, верстатних приладдя і пристосувань, не повинні мати гострих країв і задирок, які можуть травмувати працюючого.

Складальні одиниці і деталі масою більше 16 кг повинні мати спеціальні пристрої у вигляді припливів, отворів, рим-болтів і т. д., призначені для безпечного підйому і переміщення їх під час монтажу, демонтажу та ремонту обладнання.

На верстатах або автоматичних лініях для установки заготовок масою більше 8 кг, а також інструментів та пристосувань масою більше 20 кг встановлюють підйомні пристрої індивідуального типу. Підйомний пристрій повинен утримувати вантаж в будь-якому положенні, навіть у разі несподіваного припинення подачі електроенергії, масла, повітря. Для установки заготовок масою більше 250 кг належить використовувати внутріцехові підйомні засоби.

Для токарних верстатів товщина матеріалу захисного пристрою збільшується не менш ніж у два рази при обробці заготовки зі швидкістю різання більш 5 м/с. Оглядові вікна в захисних пристроях (екранах) повинні виготовлятися з прозорого спеціального матеріалу в кілька шарів загальною товщиною не менше 10 мм [6].

Пруткові токарні автомати і пруткові револьверні верстати слід по всій довжині прутків оснащати огороженнями, що мають шумопоглинаючі пристрої.

Поздовжньо-стругальні верстати повинні мати гальмові й пружно-обмежувальні пристрої, що запобігають небезпеці при викиді столу, в разі виходу його із зачеплення з приводним елементом.

В абразивно-відрізних верстатах необхідно передбачати можливість приєднання до них індивідуальних відсмоктуючих пристроїв для видалення продуктів різання з робочої зони.

Шліфувальні верстати повинні мати підвищену надійність кріплення захисного кожуха, що забезпечує утримання його на місці в разі розриву круга. Круглошліфувальні верстати, що працюють зі швидкістю круга 60 м/с і вище, повинні мати зону обробки (звернену до працівника), повністю закриту захисним пристроєм. Захисний кожух і його оглядове вікно обладнуються відповідно до вимог до швидкісного різання.

Стрічкові пилки для різання металу огорожують так, щоб відкритою залишалася тільки робоча частина пилки. Огорожа огинає шків, по яких проходить стрічка, при цьому шків додатково огорожують з бічних сторін [6].

У верстатів стругального типу огорожуються зони руху стола або повзуна, що виходять за габарити верстата. Огороження може бути виконане у вигляді бар'єру або іншого пристрою, що перегороджує доступу працюючих в цю зону.

Для швидкохідних поздовжньо-стругальних верстатів обов'язкові гальмуючі і обмежуючі рух столу пристрої для запобігання викиду столу (платформи) при виході його з зачеплення. Механізми подачі, реверсивний механізм для зміни ходу, проміжки між стійками і столом огорожують щитами.

При різанні листового металу на гільйотинних ножицях можливе попадання рук робітника між ріжучими кромками. Щоб уникнути цього, нижню кромку ножиць з'єднують зі столом і нерухомою запобіжною лінійкою, що не допускає потрапляння пальців працюючого під ніж і притискний пристрій. Конструкція ножиць така, що виключена можливість самовільного опускання верхнього ножа.

При різанні заготовок на стрічкових і круглих пилах необхідно використовувати пристосування, що усувають можливість ушкодження пальців робітника.

На верстатах свердлильного типу оброблювані вироби встановлюють і закріплюють в лещатах, кондукторах та інших пристосуваннях, надійно укріплених на столі або плиті верстата. Механізм кріплення патронів повинен забезпечувати надійний затиск і точне центрування інструменту. Автоматична лінія по механічній обробці виробів складається з окремих, взаємно пов'язаних верстатів-автоматів [6].

Управління автоматичною лінією здійснюється з центрального пульта, що забезпечує роботу у налагоджувальному і автоматичному режимах. При цьому система автоматичного управління повинна виключати можливість самопереключення лінії з налагоджувального режиму на автоматичний. При роботі на налагоджувальному режимі всі верстати і агрегати автоматичної лінії мають самостійні органи управління для їх пуску і зупину.

Обов'язково повинні бути передбачені сигнальні пристрої про включення лінії на налагоджувальний або автоматичний режим.

Необхідно також, щоб всі верстати і агрегати автоматичної лінії (як на автоматичному, так і на налагоджувальному режимах) щоб уникнути аварій, працювали в послідовності,

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

встановлений технологічним процесом, і мали справну систему блокування для дотримання цієї послідовності.

Рухомі частини верстатів, агрегатів та інших пристроїв автоматичної лінії, а також інструмент і оброблюваний виріб, огорожують надійними кожухами, що виключають можливість доступу робочого до небезпечної зони під час роботи лінії.

Видалення стружки від місця її утворення за межі автоматичної лінії повинно відбуватися автоматично, наприклад змив її рідиною, використання скребкових конвеєрів, вакуумних пристроїв і т. п.

Контроль виробів під час роботи лінії на автоматичному режимі повинен здійснюватися тільки за допомогою контрольних приладів на лінії.

Крім перерахованих механічних небезпек, особливу увагу потрібно приділити іншим небезпекам пов'язаних з гігієною праці [7].

Особливості мікроклімату на робочих місцях верстатників залежать від розміщення виробничих ділянок, площі й стану скління вікон у приміщенні та ін.

Загалом мікроклімат верстатних цехів, за наявності повітрянагрівального обладнання та систем вентиляції відповідає гігієнічним нормам, однак винятком є ситуація, коли швидкість повітря в літній час знижена, а ділянки розміщені в багатопрольотних цехах. Інтенсивність пиловиділення під час роботи металообробного обладнання залежить від його виду, кількості верстатів, що одночасно працюють, характеру оброблюваних матеріалів, наявності укриття, потужності двигунів. Запиленість у зоні дихання верстатників на міських підприємствах машинобудування становить від 2,2 до 44,6 мг/м³.

Вміст пилу електрокорунду дорівнює від 1,9 до 33,5 мг/м³ під час полірування і від 2,04 до 14,6 мг/м³ у процесі шліфування. Запиленість на робочих місцях фрезерувальників більша, ніж токарів; під час обробки чавуну більша, ніж у процесі обробки сталі та алюмінію. Зі збільшенням устаткування, що одночасно працює, запиленість зростає, до того ж зволоження та укриття значно зменшує кількість виділення пилу.

Технологічний процес абразивної обробки металу, під час якого знімають дрібну стружку, викликає руйнування та випадіння абразивних зерен і супроводжується рясним пиловиділенням і забрудненням повітряного середовища в приміщенні [7].

Концентрація пилу залежить від:

- засобу (технологічного етапу) обробки,
- розміру виробу, що оброблюється (що більший, то вища запиленість);
- характеру матеріалів, які руйнуються в процесі обробки (метал - від виробів, що шліфуються, мінерали – від абразиву та в'язучих компонентів);
- від розміру абразивного кола та напрямку його обертання (під час руху в бік робітника втричі більша, ніж у протилежний бік);
- від використання мастильно-охолоджувальних рідин (у процесі сухого способу обробки виділення пилу у два- три рази більше, ніж у процесі вологого).

Під час абразивної обробки металу виділяється змішаний пил, який складається з металевої й абразивної фракцій. Вміст вільного двоокису кремнію в абразивних матеріалах становить 1,2 - 4,5%, силікатів - 3,8 - 9,0%. Найбільший вміст двоокису кремнію та силікатів спостерігаємо під час шліфування алмазним інструментом з рідким склом і колами на керамічній зв'язці. Металообробні верстати утворюють на робочих місцях шум переважно високо- та середньочастотного характеру. Шум генерується насамперед у процесі зняття стружки з деталі, що оброблюється. Також джерелами шуму є приводи, зчеплення, редуктори, коробки передач, підшипники. Звукова потужність посилюється під час резонансного коливання значної амплітуди під час контакту інструмента й деталі.

Під час обертання деталі також виникає аеродинамічний шум внаслідок посилення руху повітря на нерівностях. Спектр звуку залежить від площі поверхні, що оброблюється. Так, різці невеликого розміру резонують на високих частотах й інтенсивно випромінюють тільки високочастотні звуки.

Втрата слуху, або туговухість, є сьогодні з найпоширеніших професійних захворювань.

Часто можна спостерігати таку картину: в умовах цеху з підвищеним рівнем шуму робітники не застосовують засобів індивідуального захисту (313) слуху, але до того ж обов'язково ходять у касках. Відбувається це внаслідок того, що втрата слуху не є очевидною небезпекою. Тобто робочий розуміє неодмінність захисту голови від можливого механічного впливу (удару), але не відчуває небезпеки, пов'язаної з надмірним шумом, тому що процес утрати слуху відбувається повільно, і його не можна відчутити миттю [7].

Згідно статистичних даних:

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- понад 800 млн людей у всьому світі мають проблеми зі слухом. За деякими даними, у 2015 р. їхня кількість досягла 1,1 млрд (близько 16% населення Землі);
- дослідження показали, що приблизно 65% людей мають I ступінь втрати слуху, 30% - III ступінь, і 5% - IV ступінь, або глухоту;
- понад третину людей втрачають слух через вплив надлишкового шуму на робочих місцях. Решта - це люди з вродженою глухотою, що втратили слух через різні захворювання і травми;
- водночас все більше молодих людей відчувають проблеми зі слухом, що здебільшого є результатом прослуховування гучної музики та надлишкового рівня шуму, зокрема й на робочих місцях;
- у середньому люди з вадами слуху зволікають майже 10 років, перш ніж починати вживати яких-небудь заходів

Звукові хвилі, що поширюються в повітрі, долають складний шлях до того, як ми сприймемо їх. Спочатку вони проникають у вушну раковину і змушують вібрувати барабанну перетинку, що замикає зовнішній слуховий прохід. Завдяки слуховим кісточкам ці коливання передаються до овального вікна внутрішнього вуха. Плівка, що закриває вікно, викликає вібрації рідини, якою заповнена завитка. Нарешті коливання досягають слухових клітин внутрішнього вуха. Головний мозок сприймає ці сигнали і розпізнає шуми,

звуки, музику, мову. Надмірний шум призводить до пошкодження чутливих волоскових клітин у завитці. Описаний процес необоротний, тобто ці клітини не відновлюються. Є зв'язок між рівнем гучності, часом впливу і швидкістю пошкодження слуху. Безпечним часом перебування в робочій зоні, де рівень шуму становить 80 дБ, є 8 годин. Важливим фактором є те, що збільшення шуму на кожні 3 дБ подвоює його руйнівну силу. Тобто зростання шуму на кожні 3 дБ наполовину скорочує час, протягом якого може бути завдано шкоди слуху. Наприклад, якщо було встановлено, що працівник дістав пошкодження органів слуху після 8-годинного впливу звуку гучністю 85 дБ, то збільшення рівня гучності всього на 3 дБ - до 88 дБ - завдасть такої ж шкоди всього за 4 години. Збільшення рівня гучності ще на 3 дБ - до 91 дБ - спричинить таку ж шкоду всього за 2 години. Нескладна підрахувати, що в разі досягнення рівня шуму до 100 дБ знадобиться всього 15 хвилин, щоб так само зашкодити слуху. Вихідний рівень гучності 85 дБ збільшився всього на 15 дБ, але наслідки цього виявилися доволі серйозними. Нарешті після досягнення рівня больового порогу 130-140 дБ такої ж шкоди слуху буде завдано менш ніж за 1 секунду. Ці розрахунки допомагають зрозуміти, чому відносно невелике зростання рівня гучності може надзвичайно погано впливати на наш слух і чому ми повинні контролювати вплив звуку на нас. Високий рівень шуму може викликати дзвін у вухах (тинітус), втрату слуху або інші проблеми зі здоров'ям. Постійна втрата слуху - це результат надмірного впливу небезпечних рівнів шуму, що відчувається зазвичай через деякий час. Відбувається поступове пошкодження волоскових клітин у завитці, у результаті чого знижується чутливість до певних звукових частот або настає повна глухота. Пошкодження стає необоротним, коли волоскові клітини відмирають - вони ніколи не відновлюються [8].

Інтенсивність шуму металорізальних верстатів значною мірою залежить від якості сталі різця, форми заточки, розміру стружки та ін. Підвищений шум генерується від великогабаритних токарних, фрезерних та шліфувальних верстатів.

Інтенсивність шуму на робочих місцях біля токарних верстатів перевищує гранично допустимий рівень (далі - ГДР) на 2-3 дБА, біля шліфувальних верстатів на 4-11 дБА, біля фрезерних із ЧПУ на 7-17 дБА, біля з них з ручним управлінням на 1-14 дБА.

Під час абразивної обробки також утворюється шум, насамперед у процесі здійснення полірувальних і точильних операцій. Рівень шуму перевищує гранично допустимий на середніх та високих частотах (500-8000 Гц) на 3-4 та 11-14 дБА відповідно.

Інтенсивність і спектр шуму залежать також від технічного стану верстатів та інструменту, виду абразивного кола та виробу, що оброблюється. Для механічної обробки твердих та крихких матеріалів і дефектоскопії металевих виробів використовують ультразвук. Робота ультразвукового обладнання супроводжується поширенням ультразвукових коливань у навколишньому середовищі, які впливають на організм працівників повітряним та контактним шляхом. Контактний вплив є локальним і зазвичай короткотерміновим.

Сьогодні відомі два більш ефективні засоби захисту органів слуху: протишумові вкладиші (беруші) і навушники. Деякі підприємства вже використовують такі сучасні пристрої, як диспенсер для берушів, що забезпечує зручне й гігієнічне зберігання протишумових вкладишів. До недавнього часу ці ЗІЗ забезпечували тільки так званий пасивний захист, тобто просто знижували рівень шуму на певну кількість децибел. Людина, перебуваючи в умовах

шуму і захищаючи себе за допомогою навушників або берушів, відчувала певні незручності: по-перше, вона не могла ефективно спілкуватися з колегами; по-друге, не мала змоги почути будь-які попереджувальні сигнали, наприклад про наближення машин або інших небезпек, які можуть трапитися. Ці обидві проблеми можна розв'язати, використовуючи нові рішення щодо ЗІЗ слуху: активні і комунікаційні навушники. Активні навушники - це ідеальне рішення там, де в умовах підвищеного шуму людині потрібно чути те, що відбувається навколо, і спілкуватися на відстані 2-3 м. Функція активного захисту полягає в тому, що електронне обладнання навушників підсилює слабкі звуки. Раптові імпульси небезпечного шуму негайно зменшуються, що і захищає людину від його надмірного впливу [8].

Комунікаційні навушники дають змогу людині в умовах шуму спілкуватися з колегами на великій відстані. Завдяки постійній комунікації збільшується ефективність і швидкість виконання операцій [7].

Одним з несприятливих чинників під час обробки металів різанням, передусім абразивної обробки, є вібрація. У технологічному процесі абразивної обробки деталей на стаціонарних верстатах з ручною подачею на працівників впливає локальна вібрація в поєднанні з великим напруженням рук переважно статичного характеру.

Найвищі рівні віброшвидкості зареєстровані під час точіння (перевищення ГДР на 11-19 дБА), шліфування (перевищення ГДР на 8-12 дБА), найнижчі - під час полірування (зростання ГДР до 2 дБА).

Характер вібрації залежить від величини оброблюваних деталей, типу абразивного кола, виду абразивного зерна, ступеня дисбалансу кола, жорсткості й вібростійкості верстата, його технічного стану. Рівень вібрації під час точіння і шліфування великих деталей вищий, ніж менших за розміром. Несприятливим фактором, яким супроводжується вібрація під час абразивної обробки виробів, є напруження м'язів рук, пов'язане не тільки з утриманням виробу в момент його контакту з абразивним колом, що обертається, а й з відповідним м'язовим зусиллям. На величину статичних м'язових навантажень впливають зернистість абразивного матеріалу, характер поверхні виробу, що оброблюється, його маса (в прямому співвідношенні), ріжучі властивості абразивного інструмента (величина зусилля зростає за рахунок «засалювання» абразивних зерен), кваліфікація працівників (у період навчання навантаження більше, ніж у працівників з досвідом роботи). Локальні м'язові навантаження в поєднанні з локальною вібрацією відіграють істотну роль у розвитку вібраційної патології. Невід'ємним компонентом металорізальних операцій є мастильно-охолоджувальні рідини - масляні, емульсійні, синтетичні, напівсинтетичні, розчини електролітів. Масляний аерозоль, який виділяється в повітря виробничих приміщень, - це складна пароводяна суміш, яка містить крім аерозолу мінеральних мастил насичені та ненасичені вуглеводні альдегіди та інші продукти деструкції мастильна охолоджувальних рідин (далі - МОР). Під час емульсійного охолодження в повітрі робочої зони біля металорізальних шліфувальних верстатів концентрація мінеральних мастил перебуває у межах 1,1-1,3 ГДК, вуглеводнів та вуглецю оксидів - не перевищує гранична допустимих величин. Під час роботи металорізальних верстатів з мастильним охолодженням у повітрі робочої зони має перевищення ГДК мінеральних мастил до 3-4 разів, вміст вуглеводнів перевищує ГДК в 1,1 рази, а вміст окису вуглецю, сірчаного ангідриду, формальдегіду нижчі за ГДК. До того ж відбувається забруднення мастильно-охолоджувальними рідинами спецодягу та відкритих поверхонь тіла працівників [7].

Характер роботи верстатників, важкість і напруженість праці визначають ступенем автоматизації верстатів і механізації допоміжних процесів. Ступінь фізіологічного напруження під час тривалого незручного положення тіла зростає залежно від збільшення маси та габариту виробів. Використання контрольно-вимірювальних приладів потребує напруження уваги і зору працівника. Дані хронометражних спостережень та ергономічних досліджень дають змогу класифікувати працю верстатників за важкістю і напруженістю. Так, праця верстатників, які працюють на універсальних верстатах (токарі, фрезерувальники), належить до важкої та напруженої, праця верстатників автоматизованого обладнання - до праці середньої важкості і низької напруженості, праця операторів верстатів із ЧПУ - легкої важкості і низької напруженості.

Обробка деталей на універсальних верстатах потребує значного зорового напруження і візуального оцінювання правильності обробки з використанням інструментів.

Під час роботи на станках з програмним Управлінням та на автоматно-револьверних верстатах постійний контроль проводити не варто, потрібне достатнє освітлення шита управління й місця обробки деталі. У металообробних цехах для систем загального освітлення використовують лампи ДРЛ, для місцевого - світлодіодні світильники. До того ж слід

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

зазначити, що фактично освітлення робочого місця верстатників часто нижче за норму, що в поєднанні з недодержанням санітарних вимог щодо своєчасного очищення захисної арматури і засклення вікон цеху може негативно впливати на органи зору працівників. Особливо небезпечною під час травмування є стружка. Зливна стружка, яка утворюється під час точіння, може призвести до порізу рук і ніг токарів і прибиральників стружки. Роздроблена стружка, особливо під час обробки крихких матеріалів (латуні, бронзи, чавуну) розлітається на відстань 3-5 м, має температуру 400-600 °С і є небезпечною для очей, шкіри рук і обличчя працівників. Особливості умов праці верстатників спричиняють певні зміни фізіологічних функцій організму протягом зміни, стану здоров'я та захворюваності. У працівників змінюється функціональна активність центральної нервової та серцево-судинної систем, знижуються показники м'язової сили і витривалості до статичних зусиль. Це призводить до зниження загального рівня працездатності і свідчить про появу ознак стомлення, які проявляються вже в першій половині робочого дня, не повністю компенсуються відпочинком під час обідньої перерви і зростають у дальші години роботи.

Під час тривалого контакту з мастильно-охолоджу вальними речовинами, до складу яких входять нафтові мастила, можливі ураження шкіри, як-от дерматити, фолікуліти, кератодермії, папіломи, а також ураження верхніх дихальних шляхів, вегетосудинні порушення: ангіоспастичний синдром, вегетативні поліневрити, захворювання печінки. Загалом у структурі захворювань з тимчасовою втратою працездатності у верстатників переважають захворювання верхніх дихальних шляхів (гострі та хронічні бронхіти, пневмонії), шкіри (фурункули, атероми, екземи), серцево-судинної системи, гіпертонічна хвороба, тромбоз вен, варикозне розширення вен нижніх кінцівок. Профзахворювання, які найчастіше реєструють у верстатників, - це хронічні бронхіти, пневмоконіози, вібраційна хвороба та нейросенсорна приглухуватість [7].

Згідно з проведеним аналізом стану профзахворюваності за період 2006-2015 рр. кількість хронічних професійних захворювань верстатників (насамперед полірувальників) становить 35% загальної кількості профзахворювань. Найчастіше у верстатників реєструють вібраційне захворювання (80%) та хронічний бронхіт (39%). Середній вік, у якому визначали профзахворювання працівника, становить 42 роки, до того ж вібраційне захворювання у середньому визначали в 39 років, хронічний бронхіт - у 45 років. Середній стаж настання профзахворювання - 16 років, зокрема і вібраційного захворювання - 14 років, хронічного бронхіту - 18 років.

Для зниження шкідливого впливу на здоров'я працівників факторів виробничого середовища і трудового процесу передбачені певні санітарно-технічні, технологічні та медико-профілактичні заходи. Так, під час розміщення цехів і діляниць з металообробки потрібно користуватися вимогами для проектування виробничих підприємств з урахуванням нормативних санітарно-захисних зон, рози вітрів, облаштування території, додержання вимог щодо об'ємно-планувальних рішень для виробничих будівель та приміщень. Ділянки, пов'язані з пиловиділенням та виникненням шуму, розміщують ізольовано від інших ділянок ДІЛЯНОК. Для безпеки виробничих процесів використовують спеціальні пристосування для установки, зняття деталей. Для прибирання металевої стружки від верстатів та з робочих місць потрібно використовувати механізовані засоби (як без використання МОР, так і гідравлічним способом). Під час обробки різанням крихких, курних матеріалів зі шкідливими наповнювачами, пластичних матеріалів найефективніше використання пневматичного пило-, стружковідсмоктувального устаткування. Для зниження концентрації аерозолів МОР у повітрі робочої зони верстатника використовують раціональні конструкції устаткування для охолодження зони різання. Використання кожухів, щитків, бар'єрів, блокувальних пристроїв є необхідним для захисту працівників від бризок МОР, пилу та абразивних часток, а також від випадкових травм під час пошкодження частин обладнання. Місцеві витяжні системи, які видаляють пил та МОР з верстатів, мають бути окремими, місцеві відсмоктувачі - обладнані установками для очищення повітря перед викидом в атмосферу [7].

Зниження рівня шуму та вібрації досягають за допомогою впровадження комплексу заходів, до яких належать:

- оптимальні планувальні рішення про розміщення ділянок та обладнання, що є джерелами шуму;
- зменшення шуму в джерелі утворення (балансування двигунів, підвищення жорсткості конструкції, використання швидкорізальної сталі для різців з поєднанням зі спеціальною рідиною, спеціальні пристрої на верстатах тощо);

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- використання засобів шумо- та віброізоляції, шумо- та вібропоглинання (ізолювальні кожухи, завіса з охолоджувальної рідини, акустичне облицювання приміщень тощо);
- усунення безпосереднього контакту люди з джерелами шуму та вібрації (дистанційне управління, автоматизація процесів);
- постійний контроль за технічним станом обладнання.

Технологічні процеси і конструкція обладнання повинні забезпечувати можливість чергування статичних і динамічних м'язових навантажень і виключати тривале перебування у вимушеній позі з нахилом понад 30%. Для зниження важкості праці потрібно передбачити механізацію трудомістких процесів, зокрема й допоміжних операцій. Маса вантажу, який підіймається та переміщується вручну, не повинна перевищувати 20 кг для чоловіків і 10 кг для жінок протягом зміни. Потрібне зручне облаштування робочих місць з установкою столів, стелажів з урахуванням оснащеності. Робочі стільці повинні відповідати ергономічним вимогам. Під час тривалого спостереження за перебігом технологічних процесів стоячи слід передбачати умови для короткострокового відпочинку сидячи. Для підтримання високого рівня працездатності встановлюють раціональний режим праці і відпочинку, який передбачає регламентовані перерви для пасивного та активного відпочинку, обідню перерву та мікропаузи. Також рекомендовано облаштування кімнат психофізіологічного розвантаження для оптимізації умов відпочинку. Санітарно-побутові приміщення для верстатників планують відповідно до вимог чинних норм залежно від обладнання та матеріалів, що обробляються (працівники на верстатах з обробки бронзи і з використанням МОР, автоматники, зуборізальники належать до категорії 3а, інші верстатники — до категорії 16). Працівників забезпечують спецодягом, спецвзуттям та ЗІЗ відповідно до Типових галузевих норм безкоштовної видачі спеціального одягу, взуття й інших засобів індивідуального захисту. Для захисту шкірного покриву використовують дерматологічні засоби (пасти, захисні креми), після закінчення роботи для миття рук використовують мило чи рідкі мийні, а також пом'якшувальні засоби. Заборонено для миття рук вживати емульсії. ЗІЗ органів слуху використовують тоді, коли немає технічної можливості зниження рівня шуму до гранично допустимого. Якщо рівень шуму досягає 95 дБ, доцільно використовувати беруші, якщо маємо його перевищення - антифони. Профілактичними заходами є проведення інструктажів з охорони праці щодо правильного використання ЗІЗ, а також попередні та періодичні медогляди осіб, які контактують із шкідливими та небезпечними факторами виробничого середовища [7].

Таким чином, урахування всіх особливостей виробничого процесу з максимальним усуненням шкідливих і небезпечних факторів може СПРИЯТИ збереженню здоров'я працівників і, як наслідок, зростанню їхньої працездатності.

Інформаційні джерела

1. Таїрова Т.М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму: Монографія. – К.: “Основа”. – 2014. – 201 с.
2. Офіційний сайт Державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Офіційний сайт Держгірпромнагляду України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dnopr.gov.ua>.
4. Офіційний сайт Держгірпромнагляду України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dnopr.gov.ua>.
5. Аналіз та оцінка стану виробничого травматизму в машинобудівній галузі. // Охорона праці, безпека життєдіяльності // Н.В. Васильчук. – випуск 1 (3). – 2015. С.-68-71.
6. НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями».
7. Загальнодержавна соціальна програма поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 р.р. // Затверджено Законом України від 4 квітня 2013 року № 178-VII.
8. Алієва М. Гігієна праці верстатників. // М. Алієва. / Охорона праці. / № 9. – 2016. – С.40-43.
9. Втрата слуху.// Охорона праці. / № 9. – 2016. – С.28-29.

Висын Е.А., Федорчук-Мороз В.И.

Луцкий национальный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ И
ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИБОРО- И
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрены основные требования к условиям труда в процессе функционирования технологического оборудования приборо- и машиностроительного комплекса. В статье проанализированы опасных и вредных производственных факторов и основные требования безопасности, которые должны выполняться в течение всего технологического процесса. Исследовано влияние факторов на уровень производственного травматизма, ведь причины травматизма многогранны и взаимосвязаны как с производственным оборудованием, которое совершенствуется и обновляется, так и с психофизиологическими характеристиками работника, а также его физическим и психологическим состоянием в данный конкретный момент. Научно-технический прогресс в станкостроении требует постоянного внимания к вопросу безопасности труда в процессе проектирования станков и при организации работы на них. Предложен комплексный подход к анализу производственного травматизма с учетом внутренних и внешних факторов воздействия.

Ключевые слова: производственный травматизм, станочник, опасный производственный фактор, вредный производственный фактор, охрана труда, гигиена труда, профилактика травматизма.

O. Visyn, V. Fedorchuk-Moroz

Lutsk National Technical University

**INVESTIGATION OF THE SOURCES OF THE EMERGENCE OF HAZARDOUS
AND HARMFUL FACTORS IN THE PROCESS OF FUNCTIONING OF THE
TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE INSTRUMENT- AND MACHINE-BUILDING
COMPLEX**

The basic requirements for working conditions in the operation of process equipment engineering tool and complex. The paper analyzes the dangerous and harmful factors and basic safety requirements to be performed during the manufacturing process. The influence factors on the level of occupational injuries, for injury reasons multifaceted and interdependent as with production equipment which improved and updated, and a psycho-physiological characteristics of the worker and his physical and psychological state at this particular moment. Scientific and technological progress in machine tool requires constant attention to the issue of safety in the design of machine tools and the organization of work on them. A comprehensive approach to the analysis of industrial injuries considering internal and external factors influence.

Key words: occupational injuries, machine, dangerous production factors harmful factors, industrial safety, occupational health, prevention of injuries.

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МІОГРАФУ
БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ КІНЦІВКИ**

У роботі розглянуто теоретичні та практичні засади побудови системи інтуїтивного керування біонічним протезом. Показано можливості використання sEMG сигналу, як керуючого імпульсу біонічної кінцівки. Розроблено інформаційно-вимірювальну систему міографу біонічної кінцівки та досліджено її функціональні можливості на прикладі аналізу часових характеристик sEMG сигналу базових положень кисті – відкритої долоні та хапального руху.

Ключові слова: *поверхнева електроміографія, біонічне протезування, інтуїтивна система керування.*

Вступ. Протезування кінцівок, як спосіб фізіологічної та психологічної ліквідації наслідків різного роду ампутацій, за останні роки зазнав суттєвих змін, що дозволило перейти від дерев'яних та металевих кріюків до автономних електронних протезних систем [1].

Протезні пристрої умовно можна розподілити на дві групи протезів верхніх та нижніх кінцівок. Серед них виділяють тимчасові (госпітальні) та постійні протези. Тимчасові протези встановлюються на невеликий проміжок часу до моменту виготовлення індивідуально-підбраного зразка з відповідними розмірами приймальної гільзи. Постійні встановлюються на тривалий час для повсякденного використання пацієнтом [2]. Постійні протези верхніх та нижніх кінцівок також бувають різних видів. Серед них, зокрема, виділяють активні, які завдяки приведенню в дію окремих частин протезу дозволяють користувачеві виконувати певний набір функцій а також пасивні (косметичні), які лише імітують втрачену частину кінцівки пацієнта.

При лікуванні наслідків ампутацій верхніх кінцівок досить успішно застосовуються механічні та тягові протезні пристрої, проте все більшого розповсюдження набувають біонічні протези. Вони дають користувачам змогу виконувати набір окремих рухів та хватів за допомогою штучної руки. Водночас, керовані протези є комплексними пристроями, для успішної реалізації яких необхідно дотримуватись певних фізіологічних та технічних критеріїв та забезпечити реалізацію низки конструкторських задач. Так, враховуючи сферу використання цього виду виробів, одним із найважливіших критеріїв, що впливають на можливість його медичної імплементації, є вага та габаритні розміри пристрою. Орім того, виділяють зручність приймальної гільзи протезу (у випадку необхідності її застосування), біоміметичну подібність штучної кінцівки, забезпечення достатньої кількості ступенів свободи, можливості керування пристроєм на інтуїтивному рівні, його дешевизну і енергоефективність [3]. Приводяться в рух такі прилади, зазвичай, за рахунок біологічних сигналів тіла користувача, забезпечуючи тим самим можливість більш «природного» керування штучною кінцівкою. Однак, аналіз сигналів у масштабах біонічного протезу є складним та громіздким завданням і потребує відповідної системи вимірювання та інтерпретації.

Для визначення біологічних імпульсів, придатних для подальшого використання у протезних системах, користуються різноманітними методами вимірювання сигналів, зокрема здійснюють дослідження нервів [4] або м'язів вцілої частини тіла пацієнта, відносно якої повинно бути проведено протезування. При цьому найбільш поширеним методом реєстрації біосигналів, що використовуються при створенні систем керування біонічними протезами, є поверхнева електроміографія (sEMG) [5-6].

Кожна з біонічних протезних систем є унікальною та залежить від зони застосування, кількості ступенів свободи, організації системи керування, функціональних можливостей та вихідної потужності, запропонованих розробником. Основні функціональні блоки, що присутні в тій або іншій штучній кінцівці, залишаються типовими. Приклад узагальненої схеми біонічного протезного пристрою наведено на рис. 1.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

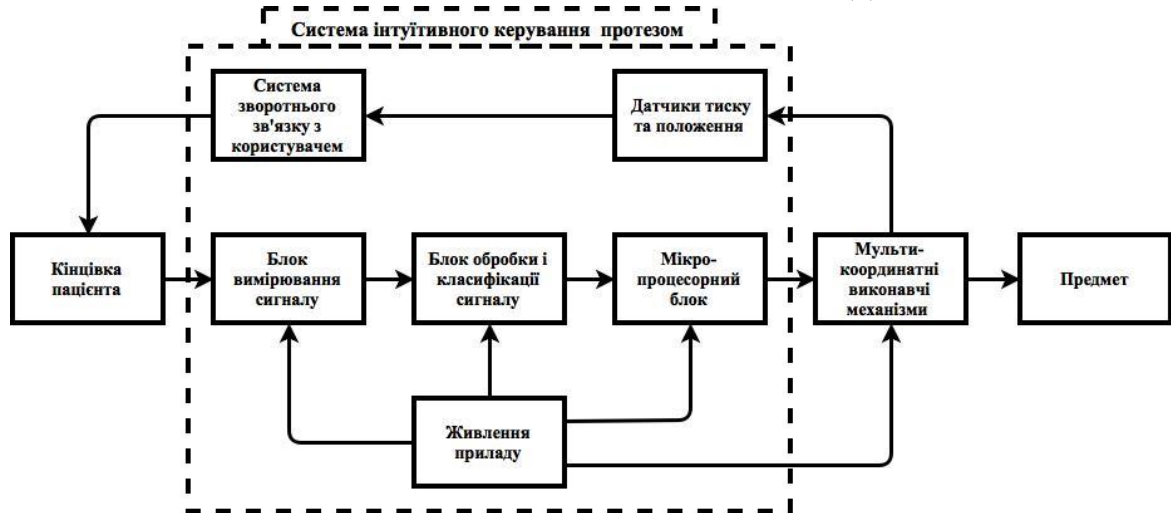


Рис. 1. Узагальнена структурна схема біонічного протезу кінцівки

Вимірювання сигналів для реалізації системи інтуїтивного керування біонічним протезом на основі поверхневої електроміографії здійснюють шляхом відведення біопотенціалів м'язів користувача при виконанні ним певних рухів вцілою частиною кінцівки. Вимірювання здійснюється за допомогою поверхневих електродів Ag-AgCl або їх матриць, що можуть бути гелевими, сухими, активними, пасивними, одно та багаторазовими [7] тощо. При цьому вимірювальні електроди розміщуються на шкірі пацієнта на відстані приблизно 2 см один від одного відносно окремих функціональних груп м'язів. Використання групи м'язів може варіюватись залежно від типу досліджуваного руху та включати *flexor pollicis longus*, *flexor carpi ulnaris*, *extensor indicis*, *brachioradialis*, *pronator teres* та інш. [8-9]. Після підсилення та фільтрації біопотенціалів в блоці вимірювання сигналу, здійснюється їх обробка та класифікація у відповідності до алгоритму досліджень. Класифікований сигнал у придатній для подальшого використання формі подається на мікропроцесорний блок для генерації керуючого імпульсу та приведення в дію мульти-координатних виконавчих механізмів протезної кінцівки. Головною вимогою до блоку живлення є забезпечення якомога більшого часу автономної роботи системи без збільшення габаритних розмірів. Враховуючи часткову або повну відсутність природних сенсорних функцій кінцівки в зоні застосування протезу, ефективність його використання може бути підвищена шляхом застосування штучних сенсорів, які сумісно з системою зворотного зв'язку дозволять підвищити точність та достовірність аналізу та контролю розподілу функцій протезного пристрою. Фізичний принцип перетворювачів, їх конструкція та кількість визначається функціоналом та конструкцією протезу, проте найбільш часто застосовуваними в штучних кінцівках є датчики тиску і положення.

При виготовленні максимально зручної та портативної інтуїтивної системи керування (ІСК), важливо знайти оптимальне конструктивне та функціональне рішення для її побудови. Варіантом реалізації прототипу біонічного протезу кінцівки з інтуїтивним керуванням може стати використання автономних мікропроцесорних схем на основі малоканалних засобів вимірювання sEMG-сигналу.

Тому метою даної роботи є розробка інформаційно-вимірювальної системи міографу біонічного протезу кисті та дослідження її функціональних можливостей для оцінки часових характеристик поверхневої електроміограми передпліччя пацієнтів без функціональних порушень.

Методи та засоби. Відведення біопотенціалів м'язів є специфічним процесом, тому побудова блоку вимірювання сигналу (рис. 1) біонічного протезу потребує дотримання умов щодо компактності та автономності при збереженні належних метрологічних та експлуатаційних характеристик. При цьому критичним є індивідуальний підбір типу поверхневих електродів та місця їх розташування. Для вимірювання поверхневої електроміограми використовуються одно та багатоканальні міографи, рівень сигналу з яких є досить слабким та має значну шумову складову [10]. Тому електроміографи повинні забезпечувати значне підсилення отриманих імпульсів, їх згладжування, випрямлення та комплексну фільтрацію [11-12].

Для проведення попередніх вимірювань було використано лабораторний стенд KL-720 та блок для вимірювання електроміограми в комплекті з пасивними гелевими електродами F-55

(SkinTact). Даний одноканальний пристрій складається з попереднього підсилювача, розв'язуючого контуру, режекторного фільтру, смугового фільтру, основного підсилювача, напівперіодного випрямляча, інтегратора та буферу. Його особливість полягає в можливості отримувати паралельне зображення початкової електроміограми і випрямленого та інтегрованого сигналу одночасно в режимі реального часу. У процесі аналізу експериментально вимірюваного на 64 пацієнтах sEMG-сигналу для визначення відносних величин ймовірних керуючих сигналів для ІСК біонічним протезом було визначено, що зазначена модель має високий рівень вхідних шумів та низьку амплітуду вихідного сигналу. «Лабораторне» призначення стенду, а відтак і габаритні розміри, не дозволили використати його в якості вимірювального засобу при прототипізації біонічного протезу. Застосування подібних стендів, як і клінічних електроміографів, є доцільним, швидше, для визначення попередніх характеристик окремих типів рухів у лабораторних умовах. Для побудови повноцінного протезного блоку реєстрації сигналу авторами було використано спеціальний одноканальний EMG-модуль фірми SparkFun Electronics та програмне забезпечення (ПЗ) власної розробки (рис. 2 б). Спроектоване ПЗ після підключення EMG-модулю (рис. 2 а) дозволяє в режимі реального часу відстежувати міографічний сигнал, відображати його у вигляді графічної залежності вимірної амплітуди (у сантивольтах) від часу проведення ітерації (у мілісекундах), а також додатково виводити значення амплітуди на інформаційне табло та записувати у вигляді текстового файлу.

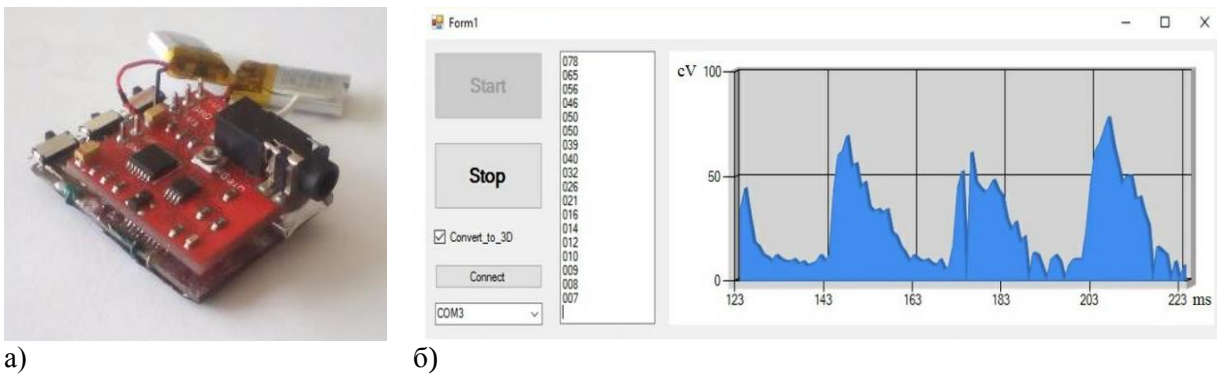


Рис. 2. Зовнішній вигляд міографу (а) та інтерфейс (б) програмного забезпечення для sEMG

Використаний EMG-модуль є малогабаритним, має розміри 25x25 мм та включає в себе схему вимірювання, фільтрації та згладжування електроміографічного сигналу. Спроектовані інформаційно-вимірювальна система міографу біонічної кінцівки, що містить одноканальний EMG-модуль, схему обробки і передачі сигналу на базі мікроконтролера Atmega16A та UART модулю HC-12 SI4463, та розроблене ПЗ дають змогу отримувати більш чіткий та потужний sEMG-сигнал, придатний для подальшого аналізу та сприйняття ІСК виконавчими механізмами протезної системи.

Вибір набору рухів кисті, який може бути присутнім у конкретному протезі, обирається розробником залежно від функціональних можливостей штучної кінцівки, потужності та автономності її системи керування, а також особливостей механічної частини і виконавчих елементів. У більшості біонічних пристроїв передбачена можливість одночасного згинання всіх пальців протезу та відведення їх у початкове положення у стан відкритої долоні. У нашому дослідженні за базовий рух кисті, відносно якого проводились вимірювання показників sEMG, було обране положення відкритої долоні (рис. 3. а) та «хапальний» рух (рис. 3. б).

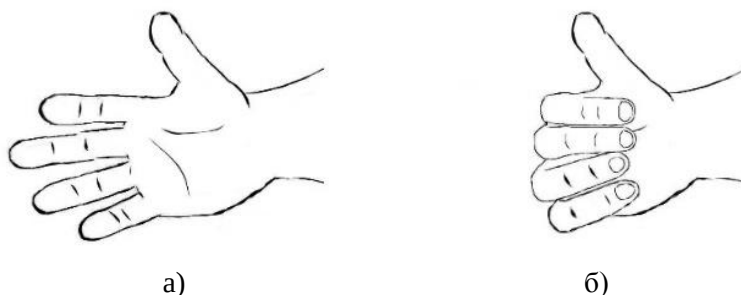


Рис. 3. Базові рухи кисті: відкрита долоня (а) та «хапальний» рух (б)

Початкове положення руки характеризує розслаблений стан кисті з відкритим положенням усіх пальців (рис. 3 а). «Хапальному» руху властиве одночасне згинання вказівного, середнього, безіменного пальців та мізинця від положення відкритої долоні до досягнення проксимальними фалангами цих пальців поверхні долоні (рис. 3 б). Після закінчення руху здійснювалось подальше розгинання пальців у зворотному напрямку. Використання таких рухів у повсякденному житті є функціональною основою для обхвату предметів різної форми і утримування їх впродовж тривалого часу.

Важливим також є точне розташування вимірювальних електродів на кінцівці пацієнта. Некоректне розміщення, наприклад, референтного електрода може призвести до значних похибок у вимірюванні сигналу та повної його відсутності. У той же час правильне позиціонування вимірювальних електродів відносно обраної групи м'язів може підвищити точність отриманих результатів для їх подальшої інтерпретації в ІСК. При проведенні даних досліджень вимірювальні електроди були позиціоновані на передпліччі пацієнта в зоні м'язів *Flexor Digitorum Superficialis*, *Flexor Digitorum Profundus* та *Flexor Carpi Ulnaris* [8-9]. Референтний електрод розміщувався на кістці у ліктьовій зоні руки пацієнта.

Результати та обговорення. Розпізнавання функціональних рухів кисті пацієнта інтуїтивною системою керування біонічним протезом на основі sEMG-сигналу може здійснюватися шляхом обчислення його чисельних параметрів. У якості таких параметрів використовується набір різноманітних показників [13], що в подальшому класифікуються за допомогою методів машинного навчання [14].

Оцінка результатів вимірювання «хапального» руху здійснювалась шляхом визначення та порівняння окремих часових характеристик sEMG-сигналу (середнього абсолютного значення MAV та дисперсії VAR), що можуть бути використані як класифікатори у системі інтуїтивного керування. Однак, на думку авторів, для коректної оцінки (особливо у випадку виконання більш широкого набору складних рухів) вищевказаних показників недостатньо. Тому запропоновано використовувати додаткову характеристику sEMG-сигналу, що може бути використана в якості класифікатора, а саме – показник середнього абсолютного відхилення (MAD).

Експериментальне дослідження sEMG-сигналу передбачало серію вимірювань поверхневої електроміограми на 20-ти здорових пацієнтах різних вікових категорій (20 ± 4 , 40 ± 4 та 50 ± 4 роки). Реєстрація біологічних імпульсів проводилась для рухів (рис. 3) у кількості 5-ти ітерацій для кожного окремого пацієнта. При цьому часовий інтервал кожної ітерації складав 250 мс, а відповідний рух виконувався пацієнтом виключно по команді у заданих інтервалах. Тривалість часової ітерації співвідноситься з дослідницькими рекомендаціями ISEK та SENIAM і повинна знаходитись в інтервалі від 20 мс (швидкі, рефлексивні рухи) до 500 мс (повільні або статичні активності). Окрім того, для уникнення втрат при передачі виміряних даних від електроміографічного модулю до ПК при аналізі часового інтервалу було враховано затримку 5 мс. Для уникнення статистичної похибки, серед отриманих результатів на 5-ти ітераціях для кожного пацієнта при порівнянні до уваги не бралися «крайні» за мінімальною та максимальною амплітудою значення.

Аналізуючи результати експериментальних вимірювань (на рис. 4 показані дані для п'яти пацієнтів) можна помітити, що не дивлячись на стать і різні вікові групи, значення характеристик отриманого sEMG-сигналу при виконанні руху «відкритої долоні» відрізняються від значень «хапального» руху в мірі, достатній для чіткого розуміння моменту переходу кисті з початкового до кінцевого положення. Отримані показники дають змогу проводити подальшу класифікацію виміряного сигналу та є початковою базою для створення системи інтуїтивного керування виконавчими механізмами біонічного протезу. Як видно з рис. 4.в запропонований авторами показник MAD має більший відносний діапазон між положенням «Відкритої долоні» та «Хапального руху» порівняно з показником MAV (рис.4.а) та значно меншу варіабельність отриманих результатів для кожної ітерації порівняно з показником VAR. Зазначені особливості можуть бути використані при машинній класифікації виміряного sEMG сигналу для підвищення ефективності адаптаційних характеристик ІСК біонічного протезу.

Розрахунок описаного набору часових характеристик здійснено за результатами вимірювання, отриманими за допомогою спроектованої системи електроміографа. Вона побудована на доступних компонентах, має достатньо високий рівень вихідного корисного сигналу (від 0 до 5V), забезпечує одночасну передачу й аналіз даних як за допомогою програмного забезпечення на ПК, так і за допомогою мікропроцесорних пристроїв (система керування протезом), а її портативність та малогабаритність дають можливість подальшої імплементації в протезні пристрої.

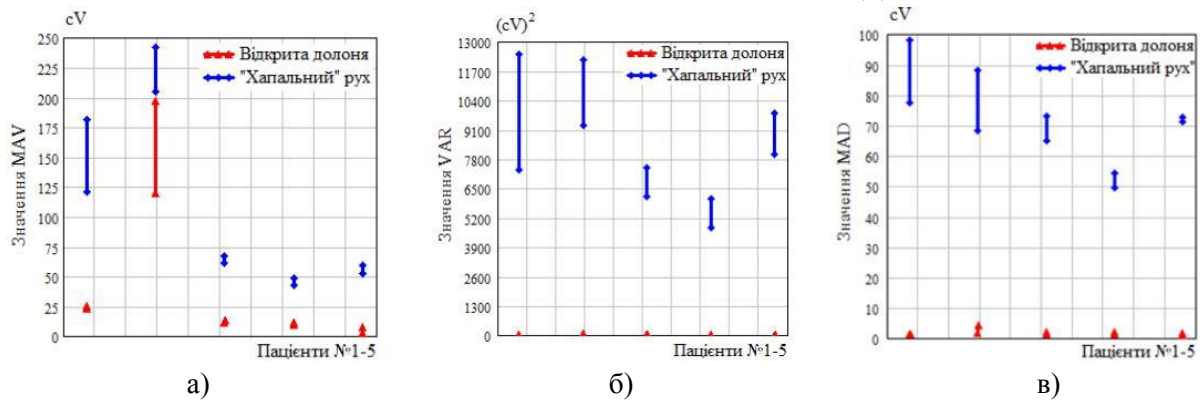


Рис. 4. Значення часових характеристик sEMG сигналу: показник MAV (а), показник VAR (б), показник MAD (в)

Висновки. Побудова біонічного протезу верхніх кінцівок є складним та комплексним завданням. Складові частини штучної кінцівки повинні бути анатомічно та фізіологічно адаптовані, а реалізація системи керування для забезпечення управління протезом на інтуїтивному рівні потребує точної реєстрації і аналізу біологічних сигналів, зокрема EMG. Застосування сучасних методів вимірювання та діагностики поверхневої електроміограми за допомогою автономних мікропроцесорних систем робить це завдання цілком реальним при використанні портативних інформаційно-вимірювальних засобів на основі готових електронних модулів та мало-канальних міографів з подальшим їх впровадженням у вигляді комплексної схеми.

Проаналізувавши суміжні роботи та результати власного дослідження можна стверджувати, що для реалізації інтуїтивних систем керування протезною кінцівкою з обмеженим набором виконуваних рухів цілком прийнятним є використання мало-канальних sEMG-систем та положень математичного аналізу й теорії ймовірностей. Отримані результати показують, що показник дисперсії sEMG-сигналу (VAR) та показник середнього абсолютного відхилення (MAD) мають достатньо чіткі і широкі межі при порівнянні елементарних типів рухів та можуть бути використані в якості універсального класифікатора. Показник середнього абсолютного значення (MAV) для деяких пацієнтів виявився менш інформативним, проте достатнім для застосування при вивченні більш широкого набору різних типів рухів.

Таким чином, ефективне застосування показників дисперсії, середнього абсолютного значення та додатково введеного показника середнього абсолютного відхилення забезпечує достовірну класифікацію окремих типів рухів, достатніх для виконання елементарних повсякденних дій носієм біонічного протезу.

Інформаційні джерела

1. Bajaj N. M. State of the Art in Prosthetic Wrists: Commercial and Research Devices / N. M. Bajaj, A. J. Spiers, A. M. Dollar. // Proceeding of 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2015). – 2015. – С. 331–338.
2. Thompson G. The Bionic Arm: New Prosthetic Devices Fuse Man and Machine / G. Thompson, D. Lubic. // Proceeding of 2009 of Seventh Annual Freshman Conference. – 2009. – №7. – С. 1–8.
3. Bandara D. S. Upper extremity prosthetics: current status, challenges and future directions / D. S. Bandara, R. A. Gopura, K. T. Hemapala. // The Seventeenth International Symposium on Artificial Life and Robotics. – 2012. – №17. – С. 875–880.
4. Pederà C. Neural Prostheses: Linking Brain Signals to Prosthetic Devices / C. Pederà, J. Martinez, R. Q. Quriga. // ICROS-SICE international joint conference. – 2009. – С. 1–6.
5. Fougner A. Control of Upper Limb Prostheses: Terminology and Proportional Myoelectric control – A Review / A. Fougner, Ø. Staudahl, P. J. Kyberd. // Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2012. – №20. – С. 663–677.
6. Zecca M. Control of Multifunctional Prosthetic Hands by Processing the Electromyographic Signal / M. Zecca, S. Micera, M. C. Carrozza. // Critical Reviews in Biomedical Engineering. – 2002. – №30. – С. 459–485.
7. Waris M. A. Control of Upper Limb Active Prosthesis Using Surface Electromyography / M. A. Waris, J. Mohsim, S. O. Gilani. // Proceedings of the 2013 International Conference on Biology, Medical Physics, Medical Chemistry. – 2013. – С. 47–51.

8. Farrell T. R. Pilot Comparison of surface vs implanted EMG for multichannel prosthesis control / T. R. Farrell, R. F. Weir. // Proceedings of IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics. – 2005. – №9. – С. 277–280.
9. Joshi D. Trends in EMG based Prosthetic Hand Development: A Review / D. Joshi, S. Altreya, A. S. Arora. // Indian Journal of Biomechanics. – 2009. – №8. – С. 228–232.
10. Kumar J. S. Hand Prosthesis Based on Surface EMG Signal for Lower Arm Aputees / J. S. Kumar, M. B. Kannan, S. Sankaranarayanan. // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2013. – №4. – С. 199–203.
11. Sudarsan S. Design and Development of EMG Controlled Prosthetic Limb / S. Sudarsan, C. Sekaran. // Proceedings of the 2012 International Conference on Modeling and Optimization and Computing. – 2012. – С. 3547–3551.
12. Raghavan A. EMG analysis and control of artificial arm / A. Raghavan, J. Sunny. // International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI). – 2016. – №5. – С. 317–327.
13. Lukai L. Whitening of the Electromyogram for Improved Classification Accuracy in Prosthesis Control / L. Lukai, L. Pu. // Annual International Conference of the IEEE EMBS. – 2012. – №34. – С. 2627–2730.
14. Bekir K. Machine Learning Algorithms for Characterization of EMG Signals / K. Bekir. // International Journal of Information and Electronics Engineering. – 2014. – №4. – С. 189–194.

Вонсевич К.П., аспирант, Безуглый М.А., к.т.н., доцент, Гапонюк А.А., магистрант

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

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МИОГРАФА БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА КОНЕЧНОСТИ

В работе рассмотрены теоретические и практические основы построения системы интуитивного управления бионическим протезом. Показаны возможности использования sEMG сигнала в качестве управляющего импульса бионической конечности. Разработана информационно-измерительная система миографа бионической конечности и исследованы её функциональные возможности на примере анализа временных характеристик sEMG сигнала базовых положений кисти – открытой ладони и движения хвата.

Ключевые слова: *поверхностная электромиография, бионическое протезирование, интуитивная система управления.*

K. Vonsevych, M. Bezuglyi, A. Haponiuk

National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF MYOGRAPH OF BIONIC LIMB PROSTHESIS

Theoretical and practical foundations of design the intuitive control system of bionic prosthesis are considered in this paper. The possibilities of using the sEMG signal as a control impulse of the bionic limb are also shown. The information-measuring system of myograph of bionic limb have been developed and its functional capabilities using the example of analyzing the temporal characteristics of the sEMG signal of basic hand positions - the open palm and grasping movement have been studied.

Keywords: *surface electromyography, bionic prosthetics, intuitive control system.*

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ ЗАВАНТАЖУВАЧІВ

Приведені особливості удосконалення конструкцій гвинтових завантажувачів сипких матеріалів з метою розширення технологічних можливостей і покращення якості роботи. Приведені аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів.

Ключові слова: гвинтові завантажувачі, сипкі матеріали, технологічні можливості.

Постановка проблеми. Основними робочими й завантажувально-розвантажувальним органам багатьох сільськогосподарських машин є гвинтові робочі органи. Їх питома вага, як транспортних засобів, складає за різними джерелами загалом 40...50 %. Специфіка їх роботи зумовлена різними реологічними властивостями вантажів, які визначають номенклатуру й конструкційні параметри шнеків, а особливо гвинтових завантажувачів з двома чи трьома трасами транспортування по горизонталі, вертикалі чи криволінійних напрямках, що призводить до травмування особливо висівного матеріалу.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені проектуванню гвинтових завантажувачів, сучасні вимоги виробництв висувають завдання щодо модернізації існуючих конструкцій та створення принципово нових з проведенням відповідних теоретичних та експериментальних досліджень.

Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробленні та практичній реалізації раціональних конструкцій гвинтових завантажувачів, мінімізації енерговитрат і зменшення травмування насіння (механізації процесів в агропромисловому комплексі) є актуальним, доцільним, значущим та перспективним для сільськогосподарської галузі України та інших держав.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням дослідження кінематики зернового вантажу у гвинтових транспортно-технологічних механізмах (ГТТМ) присвячені праці Григорьева А.В. [1], Гевка Б.М., Рогатинського Р.М. [2], Зенкова Р.Л. [3], Барышев А.И., Будишевський В.А. [4], Гевко І.Б. [5], та багатьох інших. У вказаних працях досліджено кінематику сухих сипких матеріалів, а кінематика вантажів з вологістю 12% і більше потребують подальших досліджень, а також необхідність удосконалення конструкції з метою розширення технологічних можливостей.

Мета роботи. Удосконалення конструкцій гвинтових завантажувачів з двох трасовим переміщенням сипких матеріалів по горизонталі та вертикалі і виведення аналітичних залежностей для їх розрахунку.

Реалізація роботи. Для покращення умов роботи гвинтових завантажувачів з різними траєкторіями переміщення сипких матеріалів необхідно реалізувати наступне. Основні гіпотези і технічні ідеї, які необхідно вирішити для покращення конструкцій і їх удосконалення. Існуючі гвинтові завантажувачі з переміщенням сипких матеріалів знизу до верху здійснюють процес переходу з горизонтальної траси транспортування до вертикальної, як правило через карданні механізми, які його травмують і особливо це небезпечно для насінєвих матеріалів.

Вихідними даними для проектування ГЗ є його продуктивність, тип, вид вантажу, який транспортується і його характеристики: коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, продуктивність, кут нахилу траси, конструктивні параметри та інше.

Важливим параметром ГЗ, який складається з двох віток – горизонтальної і вертикальної нахиленої під кутом є те, що продуктивність горизонтальної вітки повинна бути меншою на 5...10% від нахиленої для забезпечення нормальної роботи. При цьому регулювання цього параметра доцільно проводити кроком гвинта, а не його діаметром.

Важливим елементом, який захищає ГЗ, а відповідно і транспортну систему від забивання, сводоутворення з використанням вібруючих пристроїв відомих конструкцій. Ці проблеми зв'язані з перезволоженням сипких матеріалів.

Фактор стабільності роботи ГЗ є використання додаткових гнучких гвинтових завантажувачів, з метою збільшення зони їх завантаження з використанням як самих ГЗ так і пересувних цих механізмів.

Наступною вимогою ГЗ є те, що в зоні пересипу (перевантаження) сипкого матеріалу доцільно встановлювати відповідні зони з метою забезпечення якісної подачі сипкого матеріалу

і стабілізації технологічного процесу.

При проектуванні ГЗ необхідно щоб горизонтальна завантажувальна секція ГЗ встановлюється під кутом $2...5^{\circ}$ до горизонту в сторону подачі сипкого матеріалу, а вертикальний шнек виконати Г-подібної форми з полицкою зверху, причому співвідношення горизонтальної полицки до вертикальної становить в межах $2...7$, при мінімальній величині вертикальної полицки не менше $2...4$ мм.

Наступна рекомендація полягає в тому, що представлені конструкції можуть бути універсальні, уніфіковані з використанням відповідних робочих органів для виконання різного типу операцій, як наприклад, схема 4 – гвинтовий завантажувач-змішувач.

Для змішування сухих матеріалів доцільно використовувати гофровані гвинтові робочі органи з запрограмованим або вільним профілем.

Завантажувачі доцільно оснащувати додатковими пристроями для розширення їх технологічних можливостей, наприклад подачі мінеральних добавок, приготування кормових сумішей добавок біологічних стимуляторів або інших компонентів.

Деталі завантажувачів доцільно виготовляти з пластмас, які мають низький коефіцієнт тертя і малу масу.

Нами розроблена конструкція завантажувача, яка зображена на рис.1.

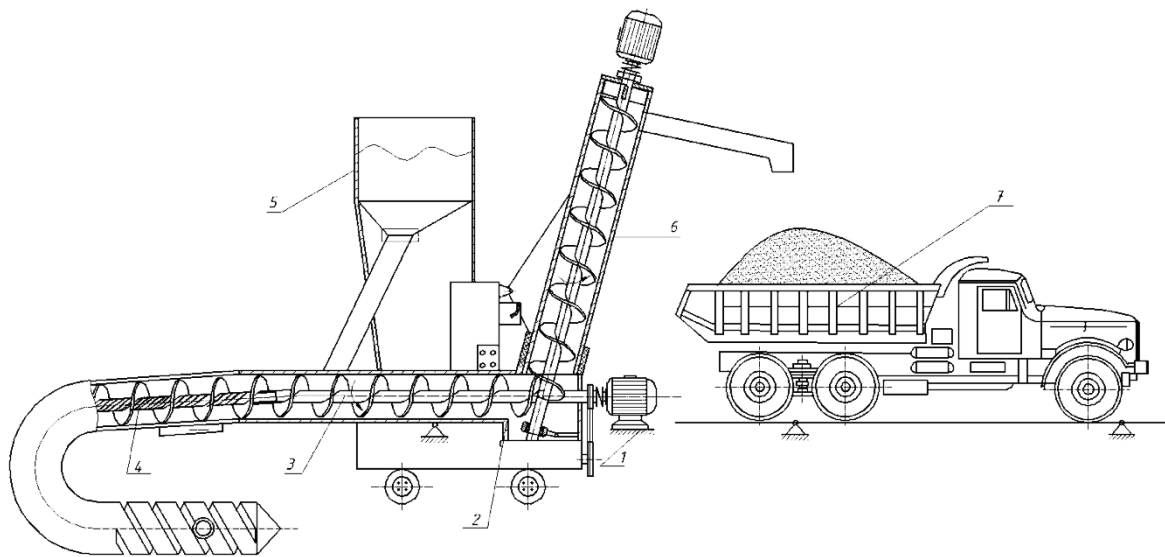


Рис. 1. Гвинтовий пересувний завантажувач:

1-рама; 2,6-горизонтальний і вертикальний кожухи; 3-жорсткий гвинтовий робочий орган; 4-гнучкий гвинтовий робочий орган; 5-бункер; 7-ємність для завантаження сипких матеріалів.

Робота пересувного гвинтового змішувача здійснюється наступним чином. Кінець гнучкої спіралі 6 з гнучким кожухом і наконечником вводять в купу сипкого матеріалу при цьому встановивши необхідні величини зазорів в пазах захисної насадки разом з рукояткою. Після цього включають привід за допомогою пульта керування. За допомогою гнучкої спіралі 6 і сипкий матеріал переміщується по горизонтальній трасі в жолобі 2 куди і подаються кормові добавки по прозорому циліндричному лотку і разом з зерном змішуються і далі подаються в зону вивантаження об'ємного збірника циліндричної форми і звідси вертикальним гвинтовим робочим органом 4 в зону вивантаження і вивантажувальний лоток і в ємність для збору матеріалу (кузов машини) 7 або різного типу тари. В разі вибору сипкого матеріалу з даної зони, завантажувальну секцію за допомогою рукоятки переставляють в нове місце, або за допомогою рухомої підставки переводять в інше місце відомим способом. В разі потреби при зволоженні кормових добавках автоматично включаються електромагнітні вібратори, які з'єднані з пультом керування, які сприяють покращенню подачі кормових добавок в зону змішування.

Для розрахунку гвинтових завантажувачів сипких матеріалів нами виведені аналітичні залежності для визначення продуктивності завантажувача, яке визначається за формулою

$$Q_v = 47 D_C^2 \xi n_C \psi c_\beta, \quad (1)$$

де ρ – насипна густина транспортного матеріалу, т/м³;

D_C – зовнішній діаметр спіралі, м;

ξ – емпіричний коефіцієнт, який враховує відношення кроку спіралі до її зовнішнього діаметра;

n_C – частота обертання спіралі, об/хв.;

ψ – коефіцієнт заповнення поперечного січення спіралі;

c_β – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності в залежності від кута нахилу спіралі, а отже з рівності (1) можна визначити розрахункове значення зовнішнього діаметра спіралі

$$D_C \approx \sqrt{\frac{Q_p}{47 \xi n_C \psi c_\beta \rho}}. \quad (2)$$

В реальних умовах дуже проблематично розрахувати всі сили опору, які протидіють обертовому руху спіралі, тому на практиці використовують відому залежність [5] для визначення потужності приводу

$$N = \frac{Q_p L_C}{367 \eta_{II}} \cdot (k \pm \sin \alpha), \quad (3)$$

де η_{II} – коефіцієнт корисної дії приводу;

k – коефіцієнт опору матеріалу.

Відповідно знак «+» приймається при підйомі матеріалу, а знак «–» під час опускання. А для горизонтально розміщеної секції завантажувача

$$N = \frac{Q_p L_C k}{367 \eta_{II}}. \quad (4)$$

З врахуванням, що

$$\nu_{кр} = \rho R n_{кр} / 30, \quad (5)$$

критична частота обертання спіралі рівна

$$n_{кр} = \frac{30}{\pi R} \sqrt{\frac{gR}{f_p} \operatorname{tg}(\beta + \rho_C)}. \quad (6)$$

Для теоретичного дослідження впливу таких параметрів як радіус спіралі R , кут її підйому β , коефіцієнт тертя матеріалу до стінок рукава завантажувача f_p на частоту обертання спіралі було проведено розрахунок, на основі яких побудовані графічні залежності (рис.2). По отриманих результатах встановлено, що частота обертання спіралі повинна бути більшою, відповідно чим більше значення кута підйому спіралі і менший її радіус та менший коефіцієнт тертя матеріалу до стінок рукава.

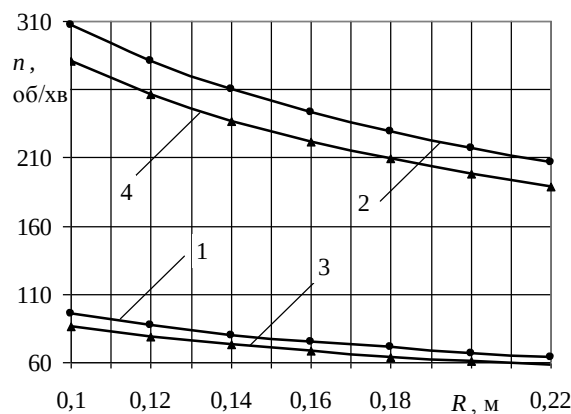


Рис. 2. Залежність зміни частоти обертання спіралі завантажувача від її радіуса $n = f(R)$ при різних значеннях кута її підйому та коефіцієнта тертя матеріалу до стінок рукава: 1 – ($\beta = 16^\circ$, $f_p = 0,15$); 2 – ($\beta = 20^\circ$, $f_p = 0,15$); 3 – ($\beta = 16^\circ$, $f_p = 0,18$); 4 – ($\beta = 20^\circ$, $f_p = 0,18$).

Крутний момент на шнекові визначаємо за виразом [2]:

$$M = N_1 \cdot R (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + N_2 R f_2. \quad (7)$$

де M – крутний момент, Н·м;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

N_1, N_2 -нормальні реакції відповідно від поверхні шнека та поверхні кожуха, Н;
 f_1 -коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею шнека;
 f_2 -коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею кожуха;
 R -радіус спіралі.

Швидкість просипання вантажу через отвір захисного наконечника визначають за формулою [6]:

$$V_3 = \lambda \cdot \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R}, \quad (8)$$

де λ – коефіцієнт просипання; R – гідравлічний радіус випускного отвору (відношення площі до периметру отвору); g – прискорення земного тяжіння.

Провівши відповідні перетворення, отримуємо залежність з якої можна визначити радіус отвору просипання [4]:

$$R = \sqrt[5]{\frac{\varphi^2 \cdot V_n^2 \cdot (D_{ж}^2 - d^2)}{25,6 \cdot k_3^2 \cdot n^2 \cdot \lambda^2 \cdot g}}. \quad (9)$$

Визначивши радіус отвору, можна через рівність площ визначити ширину прямокутного отвору з залежності:

$$l = \frac{\pi}{a} \left[\frac{\varphi^2 \cdot V_n^2 \cdot (D_{ж}^2 - d^2)}{25,6 \cdot k_3^2 \cdot n^2 \cdot \lambda^2 \cdot g} \right]^{2/5}. \quad (10)$$

Використовуючи дані залежності, можна забезпечити потрібні конструктивні розміри отворів просипання насадок і добитися максимальної продуктивності ГК при дотриманні встановлених норм виконання технологічного процесу транспортування.

На основі приведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Приведені гіпотези і технічні ідеї, які необхідно реалізувати для покращення конструкцій гвинтових завантажувачів з двох трасовим переміщенням сипких матеріалів, які закладені в розроблену конструкцію гвинтового завантажувача.

2. Приведені аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів гвинтових завантажувачів, які можуть і використовуватися в якості завантажувачів змішувачів.

Інформаційні джерела

1. Григорьев А.В. Винтовые конвейеры. / А.В. Григорьев М.: Машиностроение.; 1972р.
2. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин./ Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинский. Львов.: Вища школа, 1989, 176с.
3. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков.-М.:Машиностроение. 1973. 220с.
4. Барышев А.И., Будишевский В.А. и др. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия./ Под.ред. В.А. Будишевского. Донецк.: Норд-Прес, 2005-689с.
5. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання./ І.Б. Гевко, Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008, 307с.
6. Паладійчук Ю.Б., Дослідження енергосилових параметрів роботи конвеєрів із коливним осьовим рухом шнека./ Ю.Б.Паладійчук, Ю.М. Тарасюк Збірник наукових праць "Сільськогосподарські машини" Вип.27, Луцьк 2014р.

Гевко І.Б. к.т.н., Клендий В.М. к.т.н., Слободян Л.М.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ ЗАГРУЗЧИКОВ

Приведенные особенности усовершенствования конструкций винтовых загрузчиков сыпучих материалов с целью расширения технологических возможностей и улучшение качества работы. Приведенные аналитические зависимости для определения силовых и конструктивных параметров.

Ключевые слова: винтовые загрузчики, сыпучие материалы, технологические возможности.

I. Hevko, V. Klendii, L. Slobodian

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

**TRANSPORT TECHNOLOGICAL BACKGROUND OF DESIGNING OF SCREW
DOWNLOADERS**

Features of improving of screw loaders of dry materials construction for expanding technological capabilities and improving operational quality were presented. Analytical dependencies for determining power and construction parameters were shown.

Key words: screw loaders, dry materials, technological capabilities.

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ НА ФІНІШНИХ ЗМІЦНЮВАЛЬНО-ВИКІНЧУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В статті наведено дослідження можливостей спрямованого формування показників якості, шляхом підбору технологічних операцій та призначення відповідних технологічних режимів. Зазначено, що для здійснення спрямованого формування необхідно визначити параметри, за допомогою зміни значень яких, можна керувати значеннями показників, що еволюціонують в процесі оброблення. Це дозволить ліквідувати або зменшити вплив показників, що погіршують експлуатаційні властивості деталей, в першу чергу, на зміцнювальних або викінчувальних операціях механічного оброблення, та ініціалізувати прояви показників, що забезпечують покращення експлуатаційних властивостей деталі загалом.

Ключові слова: керування, технологічний процес, спрямоване формування, підвищення зносостійкості

Спрямоване формування ґрунтується на елементах теорій технологічної спадковості та взаємовпливу показників якості, що дозволяє знизити роль випадкових чинників і їх поєднань в ході забезпечення показників якості, що зменшує поля розсіювання значень показників і сприяє підвищенню якості оброблюваних деталей. Кожен етап технологічного процесу виготовлення доцільно розглядати як взаємодію різних технологічних об'єктів, що визначають процеси трансформації показників якості, виникнення явищ їх успадкування та взаємовпливу [1].

Процес формування показників якості при виготовленні деталі можна розглядати з позицій системного аналізу. Система являє собою інформаційну мережу, носієм інформації є поверхня деталі з різними показниками, що описують її стан. Елементи системи – етапи оброблення, тобто технологічні операції та переходи, а об'єкти, властивості що зазнають різні зміни в ході технологічного процесу (ТП). Елементи системи і зв'язків між ними досить повно можуть бути описані за допомогою теорії графів. Граф, який представляє формування показників якості в ході ТП, повинен бути орієнтованим і ациклічним [2]. Моделювання процесу формування показників якості поверхневого шару доцільно проводити в три етапи. Перший етап полягає в розробці структурної моделі процесу.

Найбільшу наочність дає каскадний граф, сформований на основі структури ТП у вигляді послідовності етапів оброблення, в якому показані головні функціональні зв'язки, що відображають явища технологічної спадковості та взаємовпливу показників якості. Такий граф дозволяє провести аналіз причинно-наслідкових зв'язків під час трансформації показників якості поверхневого шару. Даний граф виконує роль структурної моделі процесу формування показників якості під час ТП виготовлення деталі. Розрахунок конкретних значень показників якості буде виконуватися згідно графу.

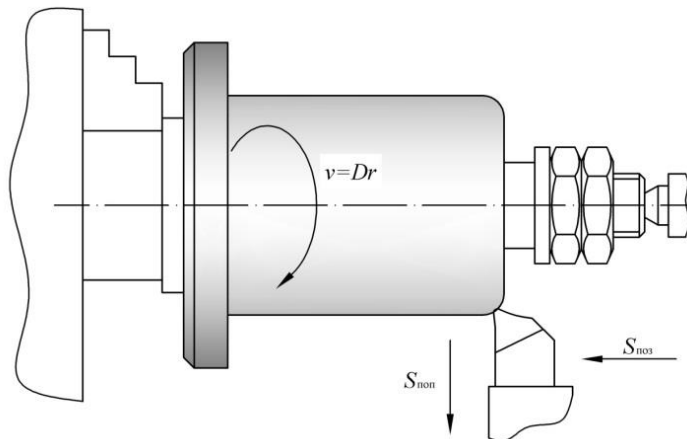


Рис. 1. Схема оброблення функціональної поверхні втулки: відхилення реального профілю від теоретичного не більше 0,01 мм; відхилення від симетричності профільного ділянки відносно торців не більше 0,01 мм

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Дослідження ТП та забезпечення показників якості проведено на прикладі спряженої деталі типу тіло обертання (рис. 1). В ході експлуатації даної деталі виникають: просковзування по довжині профілю, при робочому навантаженні від 50 до 300 Н, а також різні види зношування (адгезійне, втомне, абразивне) і знакозмінні навантаження [3]. До найбільш важливих експлуатаційних властивостей цієї деталі слід віднести зносостійкість, контактну жорсткість, втомну і корозійну стійкість.

Під час аналізу ТП оброблення основну увагу слід приділити забезпеченню якості функціональних поверхонь. Продуктивність роботи цілого вузла та його якісні характеристики залежить від зносостійкості поверхневого шару і стабільності форми функціонального профілю в процесі експлуатації.

Основні показники якості втулки визначені на основі результатів досліджень про взаємозв'язок експлуатаційних властивостей з показниками якості деталі [4], фрагменти яких показані в табл. 1 і 2. У таблицях представлені наступні показники якості: максимальне макровідхилення (відхилення форми) $H_{\max}$, мкм; висота згладжування макровідхилення H_p , мкм; найбільша висота профілю хвиль $W_{\max}$, мкм; середня висота хвиль W_z , мкм; висота згладжування хвилястості W_p , мкм; середній крок хвиль Sm_w , мм; найбільша висота нерівностей профілю $R_{\max}$, мкм; середнє арифметичне відхилення профілю Ra , мкм; висота нерівностей профілю по десяти точках Rz , мкм; середній крок нерівностей профілю Sm , мм; середній крок місцевих виступів профілю S , мм; відносна опорна довжина профілю tp %; висота згладжування профілю шорсткості Rp , мкм; напрямок нерівностей; поверхневі залишкові напруження (напруження першого роду) $\sigma_{\text{зал}}$, МПа; глибина залягання залишкових напружень h_σ , мкм; мікротвердість $H\mu$, Н/мм²; глибина деформованого шару (наклепу) h_n , мкм.

Таблиця 1

Показники, що визначають експлуатаційні властивості деталей машин та їх спряжень

Експлуатаційні властивості	Показники якості поверхневого шару														
	$H_{\max}$, мкм	H_p , мкм	W_z , мкм	W_p , мкм	Sm_w , мм	Ra, Rz , мкм	$Ra_{\max}$, мкм	Rp , мкм	tp , %	Sm , мм	S , мм	$\sigma_{\text{зал}}$, МПа	h_σ , мкм	$H\mu$, Н/мм ²	h_n , мкм
Контактна жорсткість:															
перше навантаження	–	–*	–	–*	–	–	–	–*	+	+	0	+	0	+	0
повторне навантаження	–	–*	–	–*	–	–	–	–*	+	+	0	–	0	–	0
Коефіцієнт тертя	+	+	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–	0	+	0
Зносостійкість	–	–*	–	–*	+	–	–	–*	+	+	+	+	0	+	0
Втомна міцність	0	0	0	0	0	–	–*	+	–	+	0	+	+	+	+
Корозійна стійкість	0	0	–	–	+	–*	–	–	+	+	+	–*	–	–	–
Поверхнева теплопровідність	–*	–*	–*	–*	–	–*	–	–*	+	–	–	–	–	–	–
Термостійкість	0	0	0	0	0	–	–	–	+	+	0	–	0	–	0

Примітка: «+» та «–» означають відповідно, що збільшення або зменшення цих показників викликає покращення або погіршення даної експлуатаційної властивості; * – показник здійснює основний вплив на дану експлуатаційну характеристику; «0» – показник не здійснює впливу на дану експлуатаційну властивість

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Зносостійкість істотно залежить від таких показників якості поверхні, як шорсткість, мікротвердість і залишкові напруження [5]. На контактну жорсткість впливають відхилення форми, шорсткість, мікротвердість і величина залишкових напружень. Втомна міцність визначається в значній мірі фізико-механічними показниками, такими як залишкові напруження, глибина і ступінь зміцнення поверхні, мікротвердість, а також показниками шорсткості. Корозійна стійкість залежить в основному від шорсткості поверхні, залишкових напружень і опосередковано від мікротвердості. На рис. 2 показані множини показників якості, що відповідають певним експлуатаційним властивостям втулки. Як видно з рисунка ці множини є пересічними, їх перетин є множиною основних показників якості деталі, формування яких розглядається в даній роботі. Основні показники якості включають в себе відхилення форми фасонної і посадочних поверхонь, показники шорсткості, залишкові напруження I-го роду і мікротвердість.

Таблиця 2

Залежність експлуатаційних властивостей деталі від показників якості поверхневого шару

Експлуатаційні властивості	Показники якості поверхневого шару										
	Ra , мкм	Rz , мкм	Ra_{max} , мкм	Sm , мм	S , мм	tp , %	Напрям мікронерівностей	W_{max} , мкм	H_{max} , мкм	$H\mu$, Н/мм ²	$\sigma'_{зал}$, МПа
Зносостійкість	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	(+)	+	+
Втомна міцність	(+)	(+)	+	(+)	–	–	+	+	(+)	+	+
Контактна жорсткість	(+)	(+)	(+)	(+)	–	+	+	(+)	(+)	+	(+)
Вібростійкість	(+)	(+)	(+)	+	–	+	+	–	(+)	+	(+)
Корозійна стійкість	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	–	(+)	–	+	+
Міцність спряження	(+)	(+)	–	(+)	–	+	+	–	(+)	+	(+)
Примітка: Вплив показника на властивості деталі: «(+)» – обмежений; «+» – основний; «–» – відсутній											

Для виготовлення даних втулок застосовуються високоякісні леговані сталі марок Х9М, Х12М, що піддаються об'ємному гартуванню до твердості HRC 60...65. За типом, виробництво дрібносерійне, заготовка виготовляється з прокату круглого перерізу.

З основних технологічних варіантів обробки, зокрема, отримання фасонних профілів кращим є варіант, що включає токарне оброблення на верстаті з ЧПК із застосуванням інструменту з надтвердого матеріалу і подальше зміцнювально-викінчувальне оброблення алмазним вигладжуванням [6, 7]. Цей варіант ТП забезпечує отримання необхідних розмірної точності, шорсткості та зміцнення поверхні втулки.

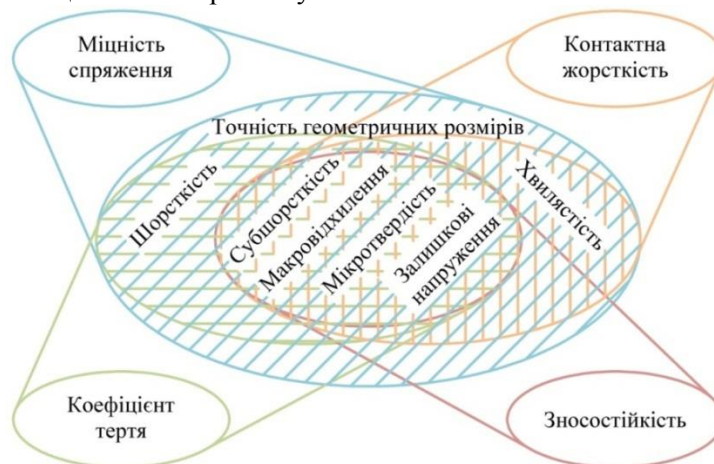


Рис. 2. Множини показників якості, що відповідають експлуатаційним властивостям деталі

На основі аналізу літературних джерел виявлено функціональні зв'язки, що відображають явища технологічної спадковості й взаємного впливу показників якості в процесі

оброблення, що характерні для деталей типу тіл обертання з фасонними поверхнями, представником яких є базова деталь. Дослідженнями [3] встановлено безпосередній функціональний зв'язок показників якості з показниками, отриманими на попередніх стадіях оброблення.

Для лезового оброблення та поверхневого пластичного деформування ці зв'язки можна представити за допомогою схеми рис. 3. Крім того, виявлено факти, що підтверджують явища технологічної спадковості й взаємного впливу показників якості. Так, наприклад, в [8] запропоновано спосіб виправлення відхилення форми від круглості за рахунок зрівноваження локальних залишкових напружень в поверхневому шарі деталі, що супроводжується її загальною пружною деформацією. В [3] розглянуто вплив анізотропії властивостей матеріалу деталі, зокрема твердості, на відхилення форми і шорсткість в процесі механічного оброблення. На основі досліджень механізму технологічної спадковості показників напружено-деформованого стану поверхневого шару в ході лезового оброблення і поверхневого пластичного деформування [2, 4] розроблена методика розрахунку залишкових напружень, глибини і ступеня зміцнення поверхневого шару. Крім того, зазначено, що фізико-механічні показники поверхневого шару впливають на висотні показники шорсткості оброблюваної поверхні.

Під час зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхневим пластичним деформуванням формується шорсткість, що визначається її вихідною величиною. Крім того, шорсткість залежить від вихідної мікротвердості особливо, при невеликих силах деформування. Хвилястість в значній мірі залежить від її початкової величини, а також від вихідних шорсткості і мікротвердості. Макровідхилення практично не змінюються і копіюються, тобто в повній мірі проявляється явище ТС, що є одним з недоліків даного методу.

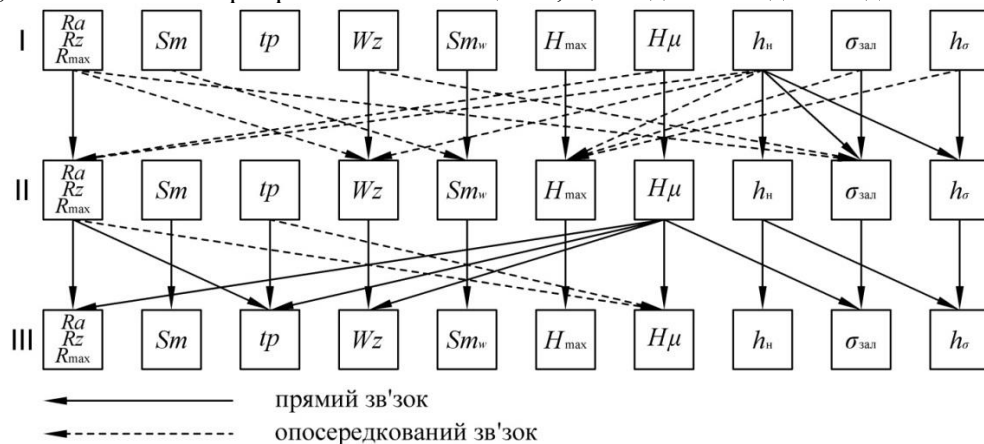


Рис. 3. Схема технологічно-спадкових зв'язків основних показників якості поверхневого шару деталей: I – вихідні показники якості поверхневого шару заготовки; II – показники якості отримані внаслідок лезового оброблення; III – показники якості отримані на операціях ППД;

Фізико-механічні показники поверхневого шару залежать як від вихідного стану, так і вихідних нерівностей оброблюваної поверхні.

За результатами експериментальних даних побудований граф процесу формування показників якості втулки (рис. 4). По горизонталі розташовані етапи оброблення, по вертикалі – розглядаються показники якості. Кожна гілка графа ($a_1 - a_{19}$, $b_1 - b_{19}$, $k_1 - k_{19}$) відображає трансформацію окремого показника якості в процесі оброблення. Вершини графа (a_i , b_i , ..., k_i) представляють собою значення показників на визначених етапах оброблення. Поздовжні ребра графа (наприклад, K_{a3a9} , K_{b10b12}) позначають технологічну спадковість (перенесення) показників якості від одного етапу до іншого. Поперечні ребра графа (наприклад, K_{b16c17} , K_{c16b17}), що з'єднують різні гілки, характеризують вплив одного показника якості на інший.

Для моделювання графа та отримання чисельних значень показників необхідно математичний опис ребер графа, тобто коефіцієнтів трансформації. В якості такого опису використані:

- геометричні залежності мікротопографії;
- відомі аналітичні залежності, що мають місце при описі процесів перетворення показників якості заготовки в ході технологічної операції або переходу;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

– регресійні залежності, що відображають зв'язки параметрів оброблення і результуючого ефекту технологічного методу, отримані на основі експериментального матеріалу [1, 2], або такі, що характеризують взаємний вплив показників якості.

Визначення складу і фізичного змісту кожного зв'язку є актуальним науково-технологічним завданням. Таким чином, для створення загальної моделі ТП можна використовувати моделі, що характеризують внесок окремих механізмів формування величини того чи іншого показника якості заготовки і деталі.

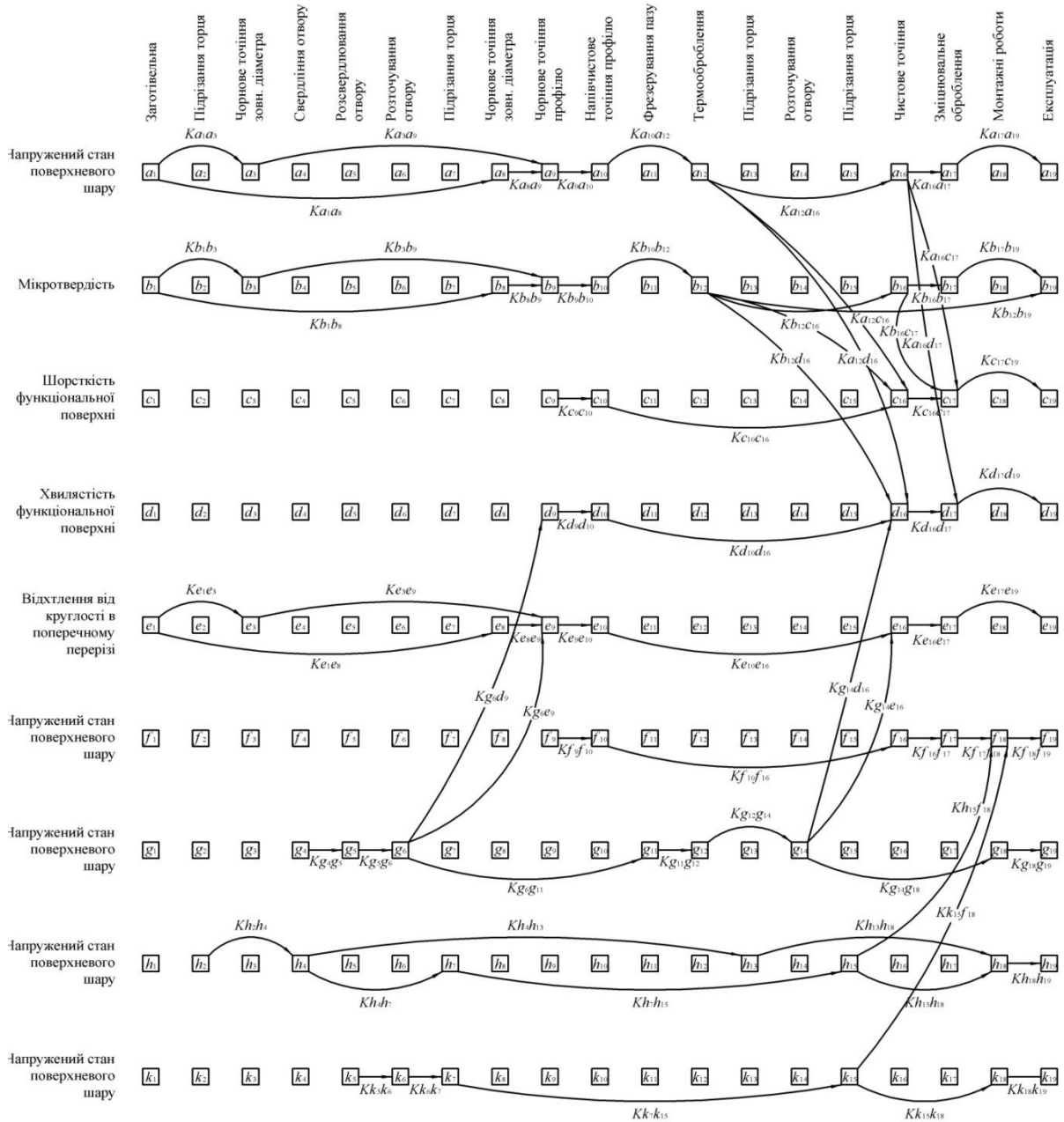


Рис. 4. Схема процесу формування показників якості функціональної поверхні втулки на стадіях виготовлення та експлуатації

Оскільки нині математичні моделі формування показників якості та їх спадкових перетворень розроблені лише для обмеженого числа ТП і носять наближений характер, для детального дослідження і моделювання була виділена ділянка графа (рис. 5), що стосується заключної стадії процесу виготовлення деталі, що включає чистове точіння і алмазне вигладжування. Це пояснюється тим, що даний профіль, є важливою функціональною поверхнею втулки. Трудомісткість оброблення поверхні становить більше третини трудомісткості оброблення всієї деталі, крім того, об'ємне гартування, що застосовується після попереднього лезового оброблення, викликає суттєві деформації заготовки, що зумовлює досить великі (до 0,2 мм) припуски на чистову обробку профілю. Таким чином, показники якості робочої поверхні виходять, в основному, на етапі фінішного оброблення.

Згідно з розробленим графом рівняння, що описують структурну модель процесу формування показників якості, будуть виглядати наступним чином:

1) показники якості, сформовані на етапі чистового точіння:

$$\begin{cases} a_{16} = a_{12} K_{a_{12}a_{16}}; \\ b_{16} = b_{12} K_{b_{12}b_{16}}; \\ c_{16} = c_{12} K_{c_{12}c_{16}} + b_{12} K_{b_{12}b_{16}}; \\ e_{16} = e_{12} K_{e_{12}e_{16}}; \\ f_{16} = f_{12} K_{f_{12}f_{16}}. \end{cases} \quad (1)$$

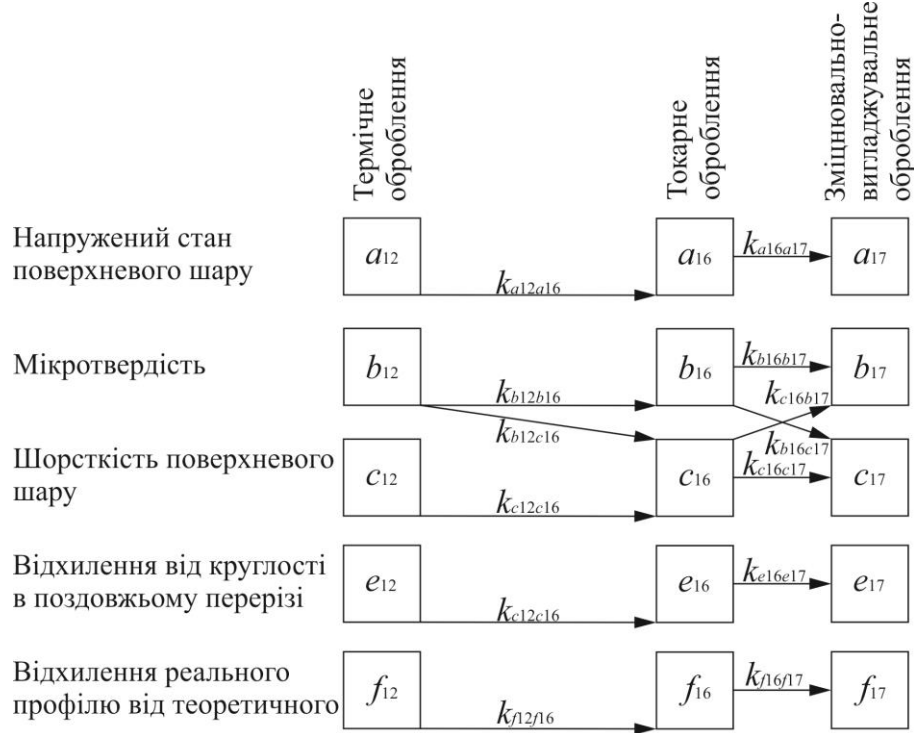


Рис. 5. Граф фінішної стадії процесу формування показників якості функціональної поверхні спряженої деталі типу тіло обертання

2) показники якості, сформовані на етапі алмазного вигладжування:

$$\begin{cases} a_{17} = a_{16} K_{a_{16}a_{17}}; \\ b_{17} = b_{16} K_{b_{16}b_{17}} + c_{16} K_{c_{16}b_{17}}; \\ c_{17} = c_{16} K_{c_{16}c_{17}} + b_{16} K_{b_{16}c_{17}}; \\ e_{17} = e_{16} K_{e_{16}e_{17}}; \\ f_{17} = f_{16} K_{f_{16}f_{17}}. \end{cases} \quad (2)$$

де a_i – значення залишкових напружень поверхневого шару; b_i – мікротвердість; c_i – значення показників шорсткості; e_i – значення відхилення від круглості в поперечному перерізі деталі; f_i – значення відхилення реального профілю від теоретичного в поздовжньому перерізі. Індeksi відповідають етапам оброблення: 12 – термічне оброблення; 16 – чистове точіння профілю; 17 – алмазне вигладжування.

З графа і наведених рівнянь справедливим буде висновок, що для розглянутих показників характерна наявність технологічної спадковості на фінішних операціях оброблення заготовки, а для показників шорсткості і мікротвердості характерний взаємний вплив, особливо на операціях алмазного вигладжування.

Представивши коефіцієнти трансформації показників якості у вигляді математичних моделей, можна розрахувати значення показників на конкретному етапі оброблення, виявити параметри технологічної системи, які мають істотний вплив на формування показників якості та зміною яких можна регулювати значення цих показників.

Інформаційні джерела

1. A. Tkachuk Thermophysical analysis process diamond smoothing / Viktor Marchuk, Anatoliu Tkachuk, Stanislav Prustupa // Computer Aided Production Engineering – Lublin: Politechnika Lubelska, 2013. - P. 67-74.
2. A. Tkachuk, V. Zablotyskiy, T. Terletsykyi, O. Kaidyk, S. Moroz Increased wear resistance of surfaces of rotation bearings methods strengthening-smoothing processing. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 5, July 2016, Pages 77-85, DOI: 10.13140/RG.2.1.1757.9125
3. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин / Балтер М.А. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
4. Заблоцький В.Ю. Про вплив технологічної спадковості на експлуатаційні характеристики кілець роликотітників. Наукові нотатки. – Луцьк: Ред.-вид. ЛДТУ, 2004, 91-100.
5. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. – Киев: Наук. думка, 1984. - 272 с.
6. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
7. Ткачук А.А. Пат. 87877 Україна, МПК В24В 39/00 (2014.01). Пристрій для вигладжування поверхонь обертання / А.А. Ткачук, Заявник і патентовласник: Луцький національний технічний університет, Луцьк; заявл. 09.08.2013; опубл. 25.02.2014; Бюл. №4. – 4 с.
8. Улашкин А.П. Выбор отделочно-упрочняющих методов обработки (для повышения износостойкости деталей машин). – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 103 с.

Дахнюк А.П., Корольова А.Г.

Луцкий национальный технический университет

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОПРЯЖЕННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА ФИНИШНЫХ УПРОЧНЯЮЩЕ-ОТДЕЛОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

В статье приведены исследования возможностей направленного формирования показателей качества, путем подбора технологических операций и назначения соответствующих технологических режимов. Отмечено, что для осуществления направленного формирования необходимо определить параметры, с помощью изменения значений которых можно управлять значениями показателей, которые эволюционируют в процессе обработки. Это позволит ликвидировать или уменьшить влияние показателей, ухудшающих эксплуатационные свойства деталей, в первую очередь, на упрочняющих или отделочных операциях механической обработки, и инициализировать проявления показателей, обеспечивающих улучшение эксплуатационных свойств детали в целом.

Ключевые слова: *управления, технологический процесс, направленное формирование, повышение износостойкости*

O. Dahnyuk, A. Korol'ova

Lutsk National Technical University

STRUCTURAL MODEL OF THE PROCESS OF FORMING THE QUALITY INDICATORS OF CONJUGATE FUNCTIONAL SURFACE SURFACES ON FINISHING SIMPLE-FINISHING OPERATIONS

The article studies the possibilities of directional formation of quality indicators, by selecting technological operations and assigning appropriate technological regimes. It is noted that in order to implement a directional formation, it is necessary to determine the parameters by changing the values of which it is possible to control the values of the indicators that evolve during the processing. This will eliminate or reduce the effect of indicators that degrade the operational properties of parts, primarily on hardening or finishing machining operations, and to initialize the manifestations of indicators that improve the operational properties of the part as a whole.

Keywords: *management, technological process, directed formation, increase of wear resistance*

ІНЖЕКТУЮЧІ БАР'ЄРНІ ПЕРЕХОДИ НА ОСНОВІ АРСЕНІДУ ГАЛІЮ ДЛЯ ПРИЛАДІВ НВЧ ДІАПАЗОНУ

Дослідження і розробка інжектуючих бар'єрних переходів у даний час ведуться у напрямках пошуку нових композицій метал-напівпровідник, котрі забезпечують необхідну стабільність та відтворюваність параметрів приладів та підбору технологічних режимів створення проміжних фаз на межі метал-напівпровідник, що знижують вплив поверхневих станів напівпровідника на роботу приладів з бар'єрами Шотткі. Відсутні відомості про послідовність структурних перетворень на межі контакту метал-напівпровідник і їх рушійні механізми. Ці обставини не можна не враховувати, особливо, при створенні приладів з бар'єром Шотткі для міліметрового діапазону довжин хвиль, коли товщини перехідних шарів можуть бути співмірні з товщиною робочих областей. Одним з найбільш ефективних засобів управління структурою межі розділу контактів є відпал, механізм якого до теперішнього часу ще до кінця не вивчений. Розроблено режим термообробки у вакуумі не гірше $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, який дозволяє збільшити висоту бар'єру Шотткі $\phi_{\text{Вп}}$ бар'єрних переходів Ag до n-n⁺GaAs(111) з $n_{\text{е.ш.}} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до 0,98 В при температурі підкладки під час напilenня 393 К, температурі відпалу 803 К, часу відпалу 600 секунд, швидкості підйому температури відпалу та охолодження відповідно $V_{\text{нагр}} = 4,72 \text{ К/с.}$; $V_{\text{охол}} = 4,72 \text{ К/с.}$

Ключові слова: Інкєктуєчий бар'єрний перехід, арсенід галію, срібло, термічне випаровування, відпал, висота бар'єру.

Дослідження і розробка інжектуючих бар'єрних переходів у даний час ведуться у напрямках [1-4] пошуку нових композицій метал-напівпровідник, що забезпечують необхідну стабільність та відтворюваність параметрів приладів та підбору технологічних режимів створення проміжних фаз на межі метал-напівпровідник, котрі знижують вплив поверхневих станів напівпровідника на роботу приладів з бар'єрами Шотткі. У більшості робіт [3-5], що виконані у цих напрямках, головною метою є дослідження електрофізичних властивостей контактів (наприклад, висоти потенційного бар'єру), вивчення питань їх формування. Аналіз проблеми формування межі розділу структур метал-GaAs [6,7] дозволяє стверджувати, що в даний час відсутня єдина класифікація, яка дозволяє прогнозувати характер взаємодії металів і сплавів на їх основі з поверхнею GaAs. Навіть при кімнатних температурах мають місце міжфазні реакції і дифузія, інтенсивність яких залежить від умов осадження металу та його кількості і зростає при підвищенні температури. Відсутні відомості про послідовність структурних перетворень на межі контакту метал-напівпровідник та їх рушійних механізмах. Ці обставини не можна не враховувати, особливо, при створенні приладів з бар'єром Шотткі для міліметрового діапазону довжин хвиль, коли товщини перехідних шарів можуть бути співмірні з товщиною робочих областей.

На величину потенційного бар'єру певний вплив має вибір контактної пари. В даний час для створення інжектуючого бар'єрного переходу метал-GaAs застосовуються [8-11] Au, Ag, Pt, Pd, Cu, Ag, Fe, Ni, Sn, Ti та інші. Найбільш придатні для використання в НВЧ діапазоні бар'єри переходу з Ag і Au, оскільки ці матеріали зручні для технологічної реалізації. У порівнянні зі сріблом золото має більш високу вартість. До того ж у Ag менший коефіцієнт дифузії в арсенід галію ніж у Au, що важливо для зменшення товщини перехідного шару, Ag добре змочує поверхню GaAs, що забезпечує механічну міцність контакту, полегшує технологію створення інжектуючих бар'єрних переходів. Срібло має гарну теплопровідність [6,7], отже, випрямляючий контакт матиме високий рівень потужності. Срібло утворює з GaAs сполуки (перехідний шар), які не змінюються в робочому діапазоні температур. Таким чином, за результатами попередніх досліджень [6,7] в якості бар'єрного матеріалу обрано срібло високої чистоти (99,999).

Одним з найбільш ефективних засобів управління структурою межі розділу контактів є відпал, механізм якого до теперішнього часу ще до кінця не вивчений [4,6,7,12]. У роботі було досліджено вплив різних режимів термообробки на властивості інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111). Контакти створювали у вакуумі методом термічного випаровування при залишковому тиску не гірше 10^{-6} Торр. Критерієм оцінки якості інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111) є його висота $\phi_{\text{Вп}}$, що визначалася за

методом вольт-амперної характеристики [13]. ВАХ контактів вимірювали чотирьохзондовим методом [14].

Для дослідження використовувався $n\text{-}n^+\text{GaAs}(111)\text{В}$ епітаксійний монокристалічний, $d_{\text{е.ш.}}=2$ мкм, $n_{\text{е.ш.}}=2\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $n_{\text{підкл.}}=10^{18} \text{ см}^{-3}$, $\mu>5000 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Кристалографічна орієнтація [13] впливає на величину потенційного бар'єру, найбільш високий бар'єр виходить на поверхні, орієнтованій за площиною $(\bar{1}\bar{1}1)$, менший на поверхні (111) , та ще менший - на поверхні (100) . Різниця між $(\bar{1}\bar{1}1)$ і (100) становить 0,1 еВ.

Досліджено вплив температури підкладки у діапазоні температур 343...543 К на висоту інжектуючого бар'єрного переходу $\text{Ag}/n\text{-}n^+\text{-GaAs}(111)$. Результати аналізу ВАХ виготовлених інжектуючих бар'єрних переходів $\text{Ag}/n\text{-}n^+\text{-GaAs}(111)$ та розрахованих значень висоти потенційного бар'єру $\phi_{\text{Вп}}$ показали, що найбільші значення $\phi_{\text{Вп}}$ отримані при нанесенні срібла на підкладку при температурі 393 К (рис. 1), незалежно від подальшої термообробки виготовленого контакту.

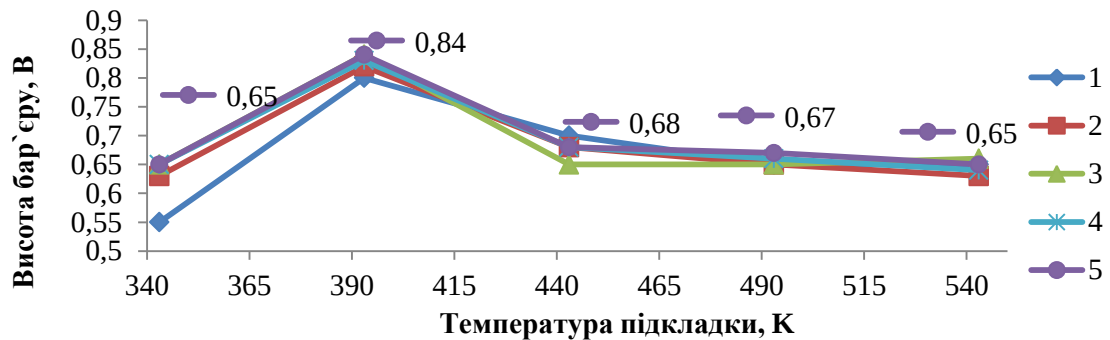


Рис. 1. Залежність висоти бар'єру Шотткі $\text{Ag}/n\text{-GaAs}(111)$ від температури підкладки. Час відпалу: 600 с, 1...5 - № партії зразків

Досліджено вплив температури та часу відпалу на висоту інжектуючого бар'єрного переходу у діапазоні температур 703...853 К при часі відпалу 300...900 секунд. Найкращі значення висоти бар'єру $\phi_{\text{Вп}}=0,95\text{...}0,98$ В отримані при відпалі при 803 К впродовж 600 секунд (рис. 2). У результаті дослідження впливу на висоту інжектуючого бар'єрного переходу $\text{Ag}/n\text{-}n^+\text{-GaAs}(111)$ швидкості підйому температури відпалу $V_{\text{нагр.}}$ та швидкості охолодження напильної структури $V_{\text{охол.}}$ після відпалу до кімнатної температури дозволили рекомендувати $V_{\text{нагр.}}=4,72 \text{ К/с}$ та $V_{\text{охол.}}=4,72 \text{ К/с}$.

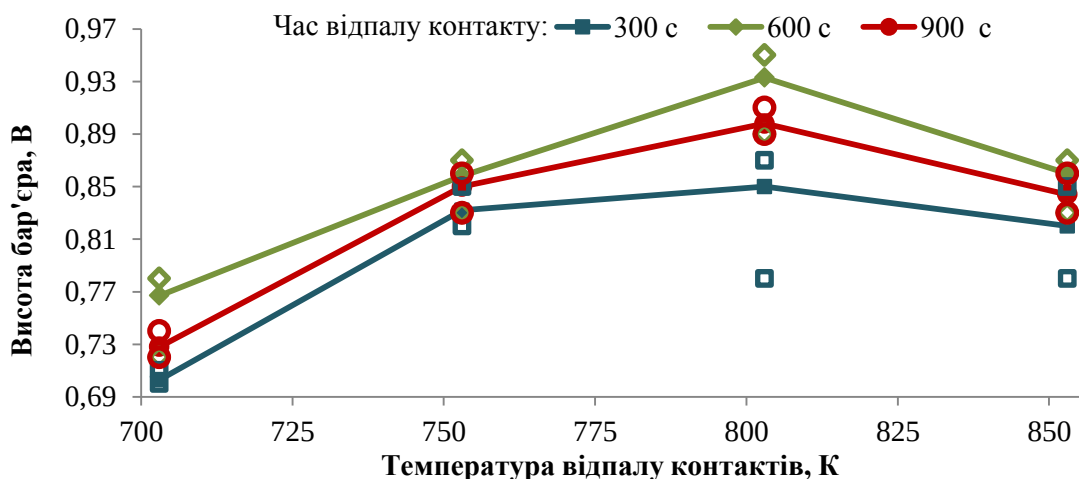


Рис. 2. Залежність висоти бар'єрного переходу $\text{Ag}/n\text{-GaAs}(111)$ від температури відпалу

Висновки. Розроблено режим термообробки бар'єрних переходів Ag до $n\text{-}n^+\text{GaAs}(111)$ з $n_{\text{е.ш.}}=2\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ у вакуумі не гірше $1,2\cdot 10^{-6}$ Торр, який дозволяє збільшити висоту бар'єру Шотткі $\phi_{\text{Вп}}$ до 0,98 В при температурі підкладки під час напильня 393 К, температурі відпалу 803 К, часу відпалу 600 секунд, швидкості підйому температури відпалу та охолодження відповідно $V_{\text{нагр.}}=4,72 \text{ К/с.}$; $V_{\text{охол.}}=4,72 \text{ К/с.}$

Інформаційні джерела

1. Зависимость проводимости от толщины активной области в тонкопленочных диодах Шоттки на GaAs [Електронний ресурс] / [С. А. Зуев, Г. В. Килесса, Э. Э. Асанов и др.]. // Физика и техника полупроводников. – 2016. – Т. 50, №6. – С. 825–829. – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/43212>
2. Влияние быстрого термического отжига на параметры арсенидгаллиевого низкобарьерного диода с приповерхностным δ -легированием [Електронний ресурс] / [А. В. Мурель, В. М. Данильцев, Е. В. Демидов и др.]. // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47, №11. – С. 1481–1485. – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/5121>.
3. Швець Є. Я. Технологічні особливості виготовлення НВЧ датчика [Електронний ресурс] / Є. Я. Швець, В. С. Дмитрієв : зб. наук. пр. // Прогресивні технології та прилади. - Луцьк: ЛНТУ. - 2012. - Вип. 2. - С. 288-292. - Режим доступа до ресурсу: <http://www.ptp.pp.ua/uploads/vipuski/2.pdf>
4. Дмитрієв В. С. Технологические особенности изготовления усилителя бегущей волны / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець // Сборник материалов 10-й международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ - 2014» / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – С. 158.
5. Швець Є. Я. Исследование влияния поверхностных состояний на показатели качества и технологичности структур Me-GaAs / Е. Я. Швець, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев // Металургія. – 2012. – Вип. 2(27). – С. 138-142. – (ISSN 2071-3789).
6. Швець Є. Я. Исследование влияния межфазной границы раздела на высоту барьера Шоттки / Е. Я. Швець, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев // Металургія. – 2011. – Вип. 1(26). – С.126–130. – (ISSN 2071-3789).
7. Дмитриев В. С. Влияние межфазной границы раздела на параметры барьерных переходов металл-полупроводник [Електронний ресурс] / В. С. Дмитриев. // Журнал нано-та електронної фізики. – 2017. – №1. – С. 01016–1–01016–4. – Режим доступа до ресурсу: [http://dx.doi.org/10.21272/jnep.9\(1\).01016](http://dx.doi.org/10.21272/jnep.9(1).01016)
8. On the evaluation of Schottky barrier diode parameters of Pd, Au and Ag/n-GaAs [Електронний ресурс] / P.Jayavel, J. Kumar, P. Ramasam, R. Premanand. // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. – 2001. – Vol. 7, №5-6. – P. 340–343. – Режим доступа до ресурсу: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/24425/1/IJEMS%207%285-6%29%20340-343.pdf>.
9. Schottky barrier rectifier with high current density using vanadium as barrier metal [Електронний ресурс] / J. S.Kim, H. H. Choi, S. H. Son, S. Y. Choi. // Applied Physics Letters. – 2001. – Vol. 79, №6. – P. 860–862. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1391402>
10. Kampen T. U. Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer [Електронний ресурс] / T. U. Kampen, S. Park, D. R. T. Zahn. // Applied Surface Science. – 2002. – №190. – P. 461–466. – Режим доступа до ресурсу: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332\(01\)00919-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332(01)00919-9)
11. Pressure dependence of Cu, Ag, and Fe/n-GaAs Schottky barrier heights / [C. S. Gworek, P. Phatak, B. T. Jonker et al.]. // Physical Review B. – 2001. – Vol. 64, №4. – P. 3221–3226
12. Effects of the barrier metal thickness and hydrogen pre-annealing on the characteristic parameters of Au/n-GaAs metal–semiconductor Schottky contacts [Електронний ресурс] / Ö.Güllü, M. Biber, R. L. Van Meirhaeghe, A. Türit. // Thin Solid Films. – 2008. – Vol. 516., №21. – P. 7851–7856. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2008.05.015>
13. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition / S. M. Sze, K. K. Ng. – Hoboken: A John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 815 p.
14. Annual book of ASTM standards 2010 / – Baltimore: ASTM International, 2010. – Vol. 10.04

Дмитрієв В.С.

Запорожская государственная инженерная академия

ИНЖЕКТИРУЮЩИЕ БАРЬЕРНЫЕ ПЕРЕХОДЫ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ПРИБОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Исследования и разработка инжектирующих барьерных переходов в настоящее время ведутся в направлениях поиска новых композиций металл-полупроводник, обеспечивающих необходимую стабильность и воспроизводимость параметров приборов и подбор технологических режимов создания промежуточных фаз на границе металл-полупроводник, снижающих влияние поверхностных состояний полупроводника на работу приборов с

барьерами Шоттки. Отсутствуют сведения о последовательности структурных преобразований на границе контакта металл-полупроводник и их движущих механизмах. Эти обстоятельства нельзя не учитывать, особенно при создании приборов с барьером Шоттки для миллиметрового диапазона длин волн, когда толщины переходных слоев могут быть соизмеримы с толщиной рабочих областей. Одним из наиболее эффективных способов управления структурой границы раздела контактов является отжиг, механизм которого до настоящего времени еще до конца не изучен. Разработан режим термообработки в вакууме не хуже $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, который позволяет увеличить высоту барьера Шоттки ϕ_{Bn} барьерных переходов Ag к $n\text{-}n^+\text{GaAs}(111)$ с $n_{e,cl.} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до 0,98 В при температуре подложки во время напыления 393 К, температуре отжига 803 К, времени отжига 600 секунд, скорости подъема температуры отжига и охлаждения соответственно $V_{нагр} = 4,72 \text{ К/с}$ и $V_{охл} = 4,72 \text{ К/с}$.

Ключевые слова: Инжектирующий барьерный переход, арсенид галлия, серебро, термическое испарение, отжиг, высота барьера.

V. Dmitriev

Zaporizhia State Engineering Academy

THE GALLIUM ARSENIDE BASED INJECTING BARRIER TRANSITIONS FOR MICROWAVE RANGE DEVICES

The research and development of injection barrier transitions are currently conducted in searching for new metal-semiconductor compositions that provide the necessary stability and reproducibility of appliance parameters and the selection of technological regimes for creating intermediate phases at the metal-semiconductor interface that reduce the influence of the semiconductor's surface states on the Schottky barriers devices work. There is no information on the structural transformations sequence at the metal-semiconductor interface and their driving mechanisms. These circumstances can't be ignored, especially at creating devices with a Schottky barrier for the millimeter wavelength range, when the thicknesses of the transition layers can be commensurable with the thickness of the working areas. One of the most effective ways to control the structure contact interface is annealing, which mechanism has not yet been fully understood. The heat treatment regime in vacuum with meaning not worse than $1,2 \cdot 10^{-6}$ Torr, has been developed. This regime makes it possible to increase the Schottky barrier height ϕ_{Bn} of Ag to $n\text{-}n^+\text{GaAs}(111)$ barrier transitions with $n_{e,l.} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ to 0,98 V at a substrate temperature of 393 K during the deposition, an annealing temperature of 803 K, an annealing time of 600 seconds and an annealing temperature rise and cooling rate, respectively, $V_{rise} = 4,72 \text{ К/с}$ and $V_{cool.} = 4,72 \text{ К/с}$.

Key words: Injecting barrier transition, gallium arsenide, silver, thermal evaporation, annealing, barrier height.

ОМІЧНІ КОНТАКТИ НА ОСНОВІ СРІБЛА ДЛЯ НВЧ ПРИЛАДІВ

Для створення омичних контактів використовують подвійні або більш складні сплави на основі срібла, золота, паладію, титану з домішкою алюмінію, індію та інші, які легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності. Сплави срібла подібного типу досить добре пручаються корозії, зберігаючи низький контактний опір. Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні і легко дисоціюють, внаслідок чого окислення майже не позначається на стійкості контактної опору срібних контактів. Омичні переходи на основі потрібного сплаву Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) до $n\text{-}n^+\text{GaAs}$ (111) з $n_{e.ш.}=2\cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ забезпечують достатньо низький контактний опір ($\rho_k=(5\ldots 7)\cdot 10^{-5}\text{ Ом}\cdot\text{см}^2$) при нанесенні контактної матеріалу на підігріту до температури 453 K підкладку та відпалі отриманої структури при 893 K упродовж 60 с у вакуумі при залишковому тиску не гірше $1,2\cdot 10^{-6}\text{ Торр}$, швидкості підйому температури відпалу 7,2 K/c і швидкості охолодження контакту після відпалу 4,75 K/c.

Ключові слова: Омичні контакти, арсенід галію, срібло, термічне випаровування, відпал.

При виготовленні напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем на арсеніді галію однією з найважливіших технологічних операцій є формування омичних контактів (ОК) [1]. Зниження опору ОК дозволяє зменшити опір пасивних областей і таким чином домогтися зниження коефіцієнта шуму в МІС НВЧ підсилювачів, зниження прямих втрат у МІС НВЧ перемикачів і фазообертачів.

Параметри омичного неінжектуємого контакту метал-напівпровідник [2] (питомий перехідний опір ρ_k , лінійність ВАХ, коефіцієнт інжекції γ та механічна міцність) залежать від різних факторів. Основна увага в відомих роботах [3-6] про ОК приділяється вибору матеріалів, режимам підготовки поверхні та вакуумного напилення, дослідженню морфології поверхні, режимам термообробки напилених структур, дослідженню структури межі розділу метал-напівпровідник [7], яка формується при виготовленні контакту. Основні проблеми омичних контактів до GaAs [8-11]: відсутність рівномірного змочування металу, шорсткість поверхні, сегрегація металу у приконтактну область, наявність безлічі фаз метал-напівпровідник, ерозія поверхні контакту, недостатньо низький контактний опір, низька термостабільність електричних параметрів контактів, неконтрольоване протравлення межі розділу метал-напівпровідник при відпалі контакту.

Для створення омичних контактів використовують подвійні або більш складні сплави [3-6,9,10] на основі срібла, золота, паладію, титану з домішкою металів (кадмію, магнію, алюмінію, індію та ін.), які легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності. Сплави срібла подібного типу досить добре пручаються корозії, зберігаючи низький контактний опір [3]. Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні і легко дисоціюють (температура дисоціації $\sim 573\text{ K}$). Внаслідок цього окислення майже не позначається на стійкості контактної опору срібних контактів. Срібло володіє схильністю до утворення непровідних плівок сульфідів Ag_2S в результаті взаємодії з сірководнем, сліди якого завжди присутні в атмосфері. Наявність вологи прискорює перебіг реакції. Тому срібні контакти не рекомендується [3] застосовувати поруч з гумою, ебонітом й іншими матеріалами, що містять сірку. У [11-13] досліджено термічну стабільність тонких срібних плівок, оскільки при підвищенні температури може виникнути агломерація, що виявляється в зміні морфології та веде до зміни електричних характеристик плівок. В [8,11,13] було запропоновано для зменшення явища агломерації вводити легуючі компоненти, які перешкоджають зростанню зерен під час відпалу. При цьому важливе значення для Ag плівок мають не тільки ретельний підбір легуючих елементів, але і їх кількість. У порівнянні з Au Ag має більшу тепло- та електропровідність, менший питомий опір, відносно невеликий коефіцієнт дифузії в арсенід галію, що дозволяє зменшити товщину перехідного шару і характеризується суттєво меншою вартістю. Тому у технології GaAs НВЧ ІС перехід до металізації на основі срібла повинен підвищити технічні характеристики виробів та зменшити собівартість їх виробництва. Широке застосування срібла стримується його великим природним дефіцитом.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Для створення омичного контакту до GaAs було обрано сплав срібло-германій-індій, що складається з 75% Ag, 20% Ge, 5% In, де Ag є основним матеріалом, Ge - легуюча добавка, In - покращує змочуваність (для GaAs - найкращу змочуваність In отримують при 773 K [10]). Легування металу, який вплавають, невеликою кількістю домішок, зменшує поверхневе натягнення металу. Для срібних сплавів такою домішкою є індій [10]. Сплав виготовлено у вакуумі у кварцовій ампулі з витримкою при 1273 K впродовж 1800 секунд. Контакти зі сплаву Ag-Ge-In стабільні до температури 873 K.

Одним з основних етапів виготовлення омичних контактів є температурна обробка, яка змінює концентрацію носіїв заряду у приповерхневому шарі напівпровідника, параметри проміжного шару і поверхневих електронних станів.

Досліджували омичні контакти, створені на епітаксійному монокристалічному n-p⁺GaAs (111)B, $d_{\text{е.ш.}}=2$ мкм, $n_{\text{е.ш.}}=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $n_{\text{підкл.}}=10^{18} \text{ см}^{-3}$, $\mu > 5000 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Омичні контакти Ag-Ge-In/n⁺GaAs (111) виготовляли методом вакуумного випаровування при залишковому тиску $p=(1,8 \dots 2) \cdot 10^{-6}$ Торр. Товщина плівки контакту 0,5 мкм задавалась точною вагою навішування випаровуваного матеріалу. Пластини GaAs обробляли в суміші толуолу та метилового спирту (1:2), у сірчанокисломому травнику $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=3:1:1$, витримували впродовж 1200 секунд у діоксидантарній кислоті $\text{HOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$, промивали у гарячій, холодній дистильованій та деіонізованій воді та у метиловому спирті. Далі зразки арсеніду галію додатково відпалювали у вакуумі не гірше, ніж $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр при температурі 873 K впродовж 60 секунд.

Опір омичних контактів достатньо сильно залежить від режиму відпалу контактів. Відомі [4-6,11-13] дані про оптимальні режими дуже суперечливі. У кожному окремому випадку опір контактів дуже критичний до режиму вплавлення. Процеси попереднього відпалу GaAs підкладки (після хімічної обробки), нанесення потрібного сплаву методом термічного випаровування та термообробка одержаної структури контакту проводилися у єдиному вакуумному циклі. Вольт-амперні характеристики контактів вимірювали чотирьохзондовим методом [14]. При розрахунку величини питомого перехідного опору використовувався метод еквівалентних схем [15].

Наведено результати дослідження впливу на питомий контактний опір контакту температури підкладки при термічному випаровуванні матеріалу контакту (рис. 1), температури та часу відпалу контактної структури (рис. 2). Встановлено (рис. 1), що найкращу адгезію контактного матеріалу до арсеніду галію одержано при температурі підкладки 453 K, $\rho_k=(4 \dots 7) \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Доведено (рис. 2), що час та температура відпалу контактної структури істотно впливають на якість омичного контакту. Кращі результати $\rho_k=(5 \dots 7) \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ отримані при температурі відпалу 893 K та часі відпалу 60 с.

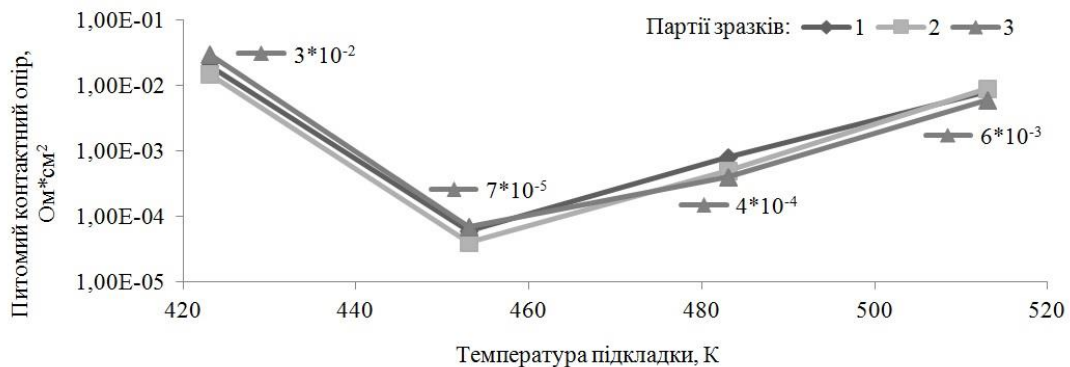


Рис. 1. Залежність питомого перехідного опору омичних контактів Ag-Ge-In/n⁺GaAs(111)B від температури підкладки при напilenні

Збільшення швидкості підйому температури відпалу від 5,55 K/с до 7,2 K/с призводить до незначного зниження величини питомого перехідного опору. Рекомендована швидкість підйому температури відпалу 7,2 K/с. Зміна швидкості охолодження контакту після відпалу в інтервалі (4,76...4,75) K/с практично не впливає на значення питомого перехідного опору. Рекомендована швидкість охолодження контакту після відпалу 4,75 K/с. Отримані контакти мають лінійну характеристику. Контакти зі сплаву Ag-Ge-In до арсеніду галію мають задовільну механічну міцність.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

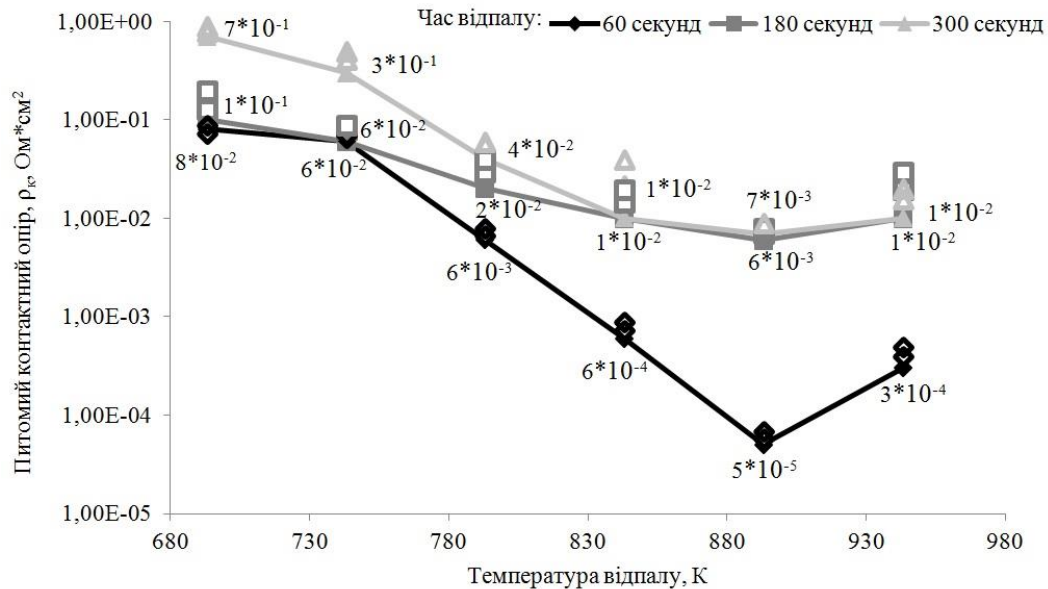


Рис. 2. Залежність питомого перехідного опору омичних контактів ρ_k від температури та часу відпалу

Висновки. Омичні переходи на основі потрійного сплаву Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) до n-p⁺GaAs (111) з $n_{e.ш.}=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ забезпечують достатньо низький контактний опір ($\rho_k=(5 \dots 7) \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$) при нанесенні матеріалу контакту на підігріту до температури 453 К підкладку і відпалі отриманої структури при 893 К упродовж 60 с у вакуумі при залишковому тиску не гірше $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Торр}$, швидкості підйому температури відпалу 7,2 К/с і швидкості охолодження контакту після відпалу 4,75 К/с.

Інформаційні джерела

1. Малошумящие арсенид-галлиевые усилители при воздействии электромагнитных помех повышенных интенсивностей [Електронний ресурс] / [С. В. Платонов, Н. В. Пермяков, Б. И. Селезнев и др.]. // Вестник Новгородского государственного университета. – 2012. – №67. – С. 29–32. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.novsu.ru/file/1010219>.
2. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition / S. M. Sze, K. K. Ng. – Hoboken: A John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 815 p.
3. Huo P. Ti/Pd/Ag Contacts to n-Type GaAs for High Current Density Devices [Електронний ресурс] / P. Huo, I. Rey-Stolle. // Journal of Electronic Materials. – 2016. – Vol. 45, №6. – P. 2769–2775. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-016-4432-6>
4. Electrical and morphological change of Ag–Ni films by annealing in vacuum / M.Kawamura, M. Yamaguchi, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2005. – Vol. 82, №3-4. – P. 277–282.
5. Christou A. Solid phase formation in Au: Ge/Ni, Ag/In/Ge, In/Au: Ge GaAs ohmic contact systems / A. Christou. // Solid-State Electronics. – 1979. – Vol. 22, №2. – P. 141–149
6. Дмитриев В. С. Влияние межфазной границы раздела на параметры омического контакта / В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева // Материали за Х международна научна практична конференция «Настоящи изследвания и развитие - 2014» / В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – Т. 28. – С. 79–82. – (ISBN 978-966-8736-05-6).
7. Швец Е. Я. Влияние режимов термообработки на структуру переходного слоя омических контактов [Електронний ресурс] / Е. Я. Швец, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев. // Металургия. – 2011. – Вип. 2(25). – С. 120–124. – (ISSN 2071-3789). – Режим доступа до ресурсу: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/METALURG_25_20.pdf
8. Thermal stability of Ag films in air prepared by thermal evaporation / [L. Jing, L. Fachun, L. Limei and other]. // Applied Surface Science. – 2007. – Vol. 253, №17. – P. 7036–7040.
9. Дмитриев В. С. Особенности формирования омичных контактов на основе арсениду галлию [Електронний ресурс] / В. С. Дмитриев. // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – №3/1(5). – С. 35–36. – (ISSN 2226-3780). – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4737/4388>
10. Дмитриев В. С. Технологичні особливості виготовлення омичного контакту до GaAs / В. С. Дмитриев, Є. Я. Швець, Л. Б. Дмитриева. // Нові технології. – 2013. – №1-2(39-40). – С. 48–50.

– (ISSN 1810-3049)

11. Comparison of the agglomeration behavior of Ag(Al) films and Ag(Au) films / K.Sugawara, M. Kawamura, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2007. – Vol. 84, №11. – P. 2476–2480.
12. Вартанян Т. А. Отложенное действие освещения на релаксацию гранулированной серебряной пленки при термическом отжиге / Т. А. Вартанян, Н. Б. Леонов, С. Г. Пржибельский. // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, №2. – С. 24–28.
13. Kim H. C. Improvement of the thermal stability of silver metallization / H. C. Kim, T. L. Alford. // Journal of Applied Physics. – 2003. – Vol.94, № 8. – P. 5393–5395.
14. Annual Book of ASTM Standards 2010 (Ed. V.A. Mayer) (West Conshohocken: ASTM International: 2010
15. Нисков В. Я. Сопротивление омических контактов к тонким слоям полупроводников / В. Я. Нисков, Г. А. Кубецкий. // Физика и техника эксперимента. – 1970. – Т. 4, №9. – С. 1806–1808.

Дмитриев В.С.

Запорожская государственная инженерная академия

ОМИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА ДЛЯ СВЧ ПРИБОРОВ

Для создания омических контактов используют двойные или более сложные сплавы на основе серебра, золота, палладия, титана с примесями алюминия, индия и других, которые легко окисляются. Сопротивление эрозии этой группы сплавов основывается на защитном действии оксидных пленок, которые препятствуют испарению, но не препятствуют контактной проводимости. Сплавы серебра подобного типа достаточно хорошо противостоят коррозии, сберегая низкое контактное сопротивление. Серебро под действием электрических разрядов окисляется, но оксиды серебра электропроводны и легко диссоциируют, вследствие чего окисление почти не сказывается на стойкости контактного сопротивления серебряных контактов. Омические переходы на основе тройного сплава Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) к $n\text{-n}^+\text{GaAs}$ (111) с $n_{\text{э.сл.}}=2\cdot10^{16}\text{ см}^{-3}$ обеспечивают достаточно низкое контактное сопротивление ($\rho_k=(5\ldots7)\cdot10^{-5}\text{ Ом}\cdot\text{см}^2$) при нанесении материала контакта на подогретую до температуры 453 К подложку и отжиге полученной структуры при 893 К в течение 60 с в вакууме при остаточном давлении не хуже $1,2\cdot10^{-6}$ Торр, скорости подъема температуры отжига 7,2 К/с и скорости охлаждения контакта после отжига 4,75 К/с.

Ключевые слова: Омические контакты, арсенид галлия, серебро, термическое испарение, отжиг.

V. Dmitriev

Zaporizhia State Engineering Academy

THE OHMIC SILVER BASED CONTACTS FOR MICROWAVE DEVICES

To create ohmic contacts, based on double or more complex alloys from silver, gold, palladium, titanium with aluminum, indium and other impurities, which are easily oxidized, are used. Resistance to erosion of this alloys group is based on the protective oxide films effect, which prevent evaporation, but do not interfere with contact conductivity. Silver alloys of this type resist corrosion sufficiently well, saving a low contact resistance. Silver under the impact of electrical discharges is oxidized, but silver oxides are electrically conductive and easy dissociate, so that oxidation has almost no effect on the silver contacts contact resistance. The ohmic transitions based on the ternary alloy Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) to $n\text{-n}^+\text{GaAs}$ (111) with $n_{\text{e.l.}}=2\cdot10^{16}\text{ cm}^{-3}$ provide a sufficiently low contact resistance ($\rho_c=(5\ldots7)\cdot10^{-5}\text{ Ohm}\cdot\text{cm}^2$) when the contact material was applied to the heated to 453 K substrate and the resulting structure annealed at 893 K at 60 s in a vacuum at a residual pressure of not worse than $1,2\cdot10^{-6}$ Torr, the annealing temperature rise rate is 7,2 K/s and the contact cooling rate after annealing is 4,75 K/s.

Key words: ohmic contacts, gallium arsenide, silver, thermal evaporation, annealing.

ВПЛИВ ВИХІДНОЇ МІКРОТВЕРДОСТІ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ОТРИМАНІ ПІД ЧАС ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Стаття присвячена питанням встановлення емпіричних закономірностей формування мікрогеометричних характеристик та експлуатаційних властивостей поверхні деталей типу «тіло обертання» під час токарного оброблення. Зокрема подано рівняння регресії, що характеризує взаємозв'язок мікротвердості, режимів оброблення і шорсткості під час токарних операцій. Для визначення коефіцієнтів запропонованої залежності, був поставлений повнофакторний експеримент типу 2^4 . Під час оброблення результатів експерименту були обчислені: дисперсія відтворюваності експерименту, коефіцієнти регресії моделі, дисперсія коефіцієнтів регресії та їх довірчий інтервал. За результатами експерименту було встановлено, що серед параметрів режиму оброблення найбільш впливовим в процесі чистового точіння є подача.

Ключові слова: мікротвердість, шорсткість, повнофакторний експеримент, токарне оброблення.

Відомо, що в технологічному циклі виготовлення деталей машин токарні операції займають одне з провідних місць серед операцій механічного оброблення. Так в технологічному циклі виготовлення деталей машин типу «тіло обертання» токарні операції займають близько 40% затрат на виготовлення і забезпечують початкове формування мікрогеометричних характеристик та експлуатаційних властивостей оброблюваної поверхні.

Під час дослідження токарних операцій шорсткість добре характеризується висотою нерівностей профілю по десяти точках Rz_m (мкм). В якості чинників були обрані вихідна мікротвердість $H\mu_{m0}$ (Н/мм²), подача S_m (мм/об), глибина різання t_m (мм) і частота обертання n_m (об/хв), що характеризує швидкість різання.

Імовірно, залежність, що характеризує взаємозв'язок мікротвердості, режимів оброблення і шорсткості під час токарних операцій, можна апроксимувати рівнянням регресії степеневого вигляду:

$$Rz_m = CH\mu_{m0}^{\alpha_1} S_m^{\alpha_2} t_m^{\alpha_3} n_m^{\alpha_4}, \quad (1)$$

де C – постійний множник.

Після логарифмування рівняння лінеаризується наступним чином:

$$\lg Rz_m = \lg C + \alpha_1 \lg H\mu_{m0} + \alpha_2 \lg S_m + \alpha_3 \lg t_m + \alpha_4 \lg n_m.$$

Можливість апроксимації зазначеної залежності рівнянням (1) встановлюється перевіркою гіпотези адекватності опису моделі поліномом першого ступеня:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \dots + b_{12\dots k} x_1 x_2 \dots x_k,$$

де y відповідає $\lg Rz_m$; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ – кодовані значення факторів; k – число факторів.

Для визначення коефіцієнтів залежності, був поставлений повнофакторний експеримент типу 2^4 .

Рівні факторів та інтервали варіювання були обрані за результатами попереднього експерименту [1] і на основі рекомендацій по вибору режимів різання для сталі Х12М [2].

Таблиця 1

Рівні факторів експерименту

Фактор, одиниця вимірювання	Код фактора	Рівні факторів		
		Верхній	Основний	Нижній
Мікротвердість, $H\mu_{m0}$, Н/мм ²		10387	8820	8162
Подача, S_m , мм/об	x_2	0,1	0,075	0,05
Глибина різання, t_m , мм	x_3	0,5	0,35	0,2
Частота обертання шпинделя, n_m , об/хв	x_4	500	350	200

Кодовані значення факторів визначали за виразом:

$$x_i = \frac{2(\lg \tilde{x}_i - \lg \tilde{x}_i^e)}{\lg \tilde{x}_i^e - \lg \tilde{x}_i^h} + 1, \quad (2)$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

де x_i – кодоване значення i -го фактора; $\tilde{x}_i$ – натуральне значення i -го фактора; $\tilde{x}_i^s$ – натуральне значення верхнього рівня i -го фактора; $\tilde{x}_i''$ – натуральне значення нижнього рівня i -го фактора.

Зразки обробляли на токарному верстаті 16К20ФЗ різцями зі змінними трикутними пластинами з надтвердого сплаву ВОР71. Щоб знизити вплив зношування кромки ріжучої пластини, після 2-3 робочих ходів здійснювали зміну ріжучого елементу.

В результаті вимірювань параметра шорсткості Rz_m після оброблення отримані значення, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Шорсткість отримана в результаті лезового оброблення

Номер зразка	Rz_m , мкм	Номер зразка	Rz_m , мкм
1	6,19	11	9
2	4,51	12	6,61
3	8,87	13	2,46
4	9,09	14	1,93
5	2,1	15	5,36
6	2,5	16	9,05
7	6,61	17	3,22
8	6,48	18	3,8
9	4,73	19	3,71
10	3,37		

Експеримент проводили без дублювання дослідів. Під час оброблення результатів експерименту були обчислені:

1. Дисперсія відтворюваності експерименту за результатами дослідів в центрі плану на зразках №17...19:

$$S_y^2 = \frac{1}{N_1 - 1} \sum_{l=1}^{N_1} (y_l - \bar{y})^2, \quad (3)$$

де N_1 – число паралельних дослідів в центрі плану; y_l – значення параметра оптимізації в l -му досліді, $l=1, \dots, N_1$; $\bar{y}$ – середнє арифметичне значення параметра оптимізації в N_1

паралельних дослідах, $\bar{y} = \frac{1}{N_1} \sum_{l=1}^{N_1} y_l$.

$$S_y^2 = \frac{1}{2} \left((-0,5076 + 0,5523)^2 + (-0,5798 + 0,5523)^2 + (-0,5694 + 0,5523)^2 \right) = 0,0015.$$

2. Вільний член b_0 і коефіцієнти регресії моделі, що характеризують лінійні ефекти b_i та ефекти взаємодії b_{im} , b_{imu} , b_{imuv} за формулами:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_1} y_j; & b_i &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_1} x_{ij} y_j; & b_{im} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_1} x_{ij} x_{mj} y_j; \\ b_{imu} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_1} x_{ij} x_{mj} x_{ui} y_j; & b_{imuv} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_1} x_{ij} x_{mj} x_{ui} x_{vj} y_j; \end{aligned} \quad (4)$$

де i, m, u, v – номери факторів; j – номер дослідів в матриці планування; y_j – значення параметра оптимізації в j -му досліді; $x_{ij} x_{mj} x_{ui} x_{vj}$ – кодовані значення взаємодіючих факторів i, m, u, v в j -му досліді.

Значення коефіцієнтів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів регресії

b_0	0,6902	b_{12}	-0,0131	b_{34}	0,0505
b_1	0,0228	b_{13}	-0,007	b_{123}	-0,0045
b_2	0,1846	b_{14}	-0,0241	b_{234}	-0,0077
b_3	-0,0005	b_{23}	0,0124	b_{134}	0,0930
b_4	-0,1009	b_{24}	0,0555		-0,0213

3. Дисперсія $S^2\{b_i\}$ коефіцієнтів регресії та довірчий інтервал Δb_i , необхідні для перевірки статистичної значущості коефіцієнтів:

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S_y^2 = \frac{1}{16} 0,0015 = 9,519 \cdot 10^{-5},$$

де N – число дослідів в матриці планування;

$$\Delta b_i = \pm t_T S\{b_i\} = \pm 4,3 \sqrt{9,519 \cdot 10^{-5}} = 0,042,$$

де t_T – табличне значення критерію Стюдента, що дорівнює $t_T = 4,3$ при 5-ти процентному рівні значущості для числа ступенів вільності $f = N - (k + 1) = 2$.

Коефіцієнт регресії є значущим, якщо його абсолютна величина більша довірчого інтервалу. За результатами розрахунків справедливо виключити коефіцієнти: $b_3, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{123}, b_{234}, b_{1234}$.

Після перетворення отримано наступне рівняння:

$$\begin{aligned} \lg Rz_m = & 105,97141 - 27,88548 \lg H\mu_{m0} - 3,40835 \lg S_m + 217,58042 \lg t_m - \\ & - 41,89167 \lg n_m + 1,8539 \lg S_m \lg n_m - 87,03502 \lg t_m \lg n_m + 11,24154 \lg H\mu_{m0} \lg n_m - \\ & - 56,20769 \lg H\mu_{m0} \lg t_m + 22,48308 \lg H\mu_{m0} \lg t_m \lg n_m. \end{aligned}$$

Для перевірки адекватності моделі були обчислені:

– дисперсія адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{f} = 0,02095,$$

де $\hat{y}_j$ – значення параметра оптимізації, визначене по моделі, для умов j -го дослідів;

– критерій Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{0,02095}{0,0015} = 13,7557.$$

Модель вважається адекватною, якщо розрахункове значення критерію Фішера F_p менше табличного F_m . В даному випадку при 5-відсотковому рівні значущості $F_m = 19,2 > 13,7557$, отже, модель адекватна.

На рис. 3 - 6 представлені графіки, що показують вплив зміни значень вихідної мікротвердості $H\mu_{m0}$ і режимів оброблення на величину показника шорсткості Rz_m .

Зведена діаграма, що характеризує вплив параметрів оброблення та вихідної шорсткості, показана на рис. 7.

З графіків видно, що зміна значення вихідної мікротвердості $H\mu_{m0}$ істотно впливає на величину висотного показника шорсткості. Збільшення вихідної величини $H\mu_{m0}$ на 10% викликає збільшення Rz_m на 5%.

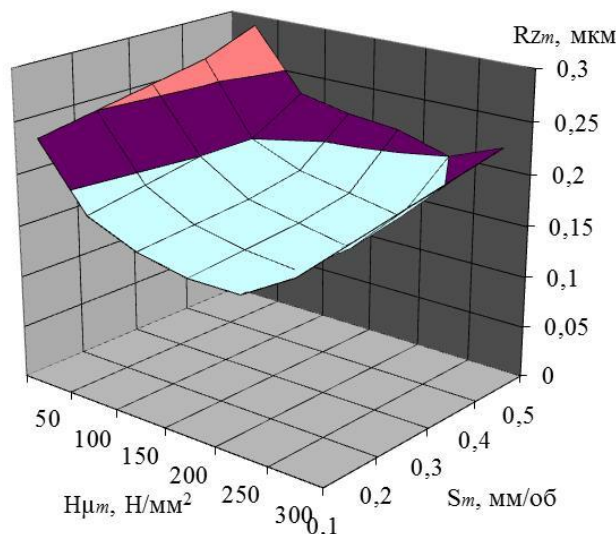


Рис. 3. Вплив вихідної мікротвердості $H\mu_{m0}$ на показник шорсткості Rz_m , отриманий після токарного оброблення

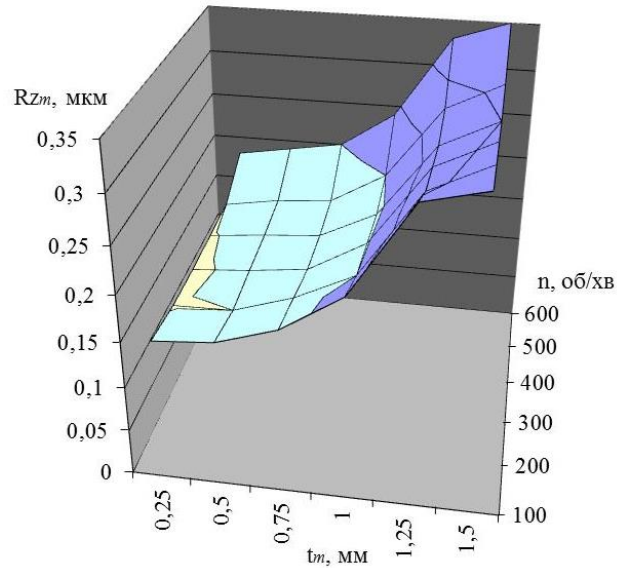


Рис. 4. Вплив глибини різання t_m на показник шорсткості Rz_m , отриманий після токарного оброблення

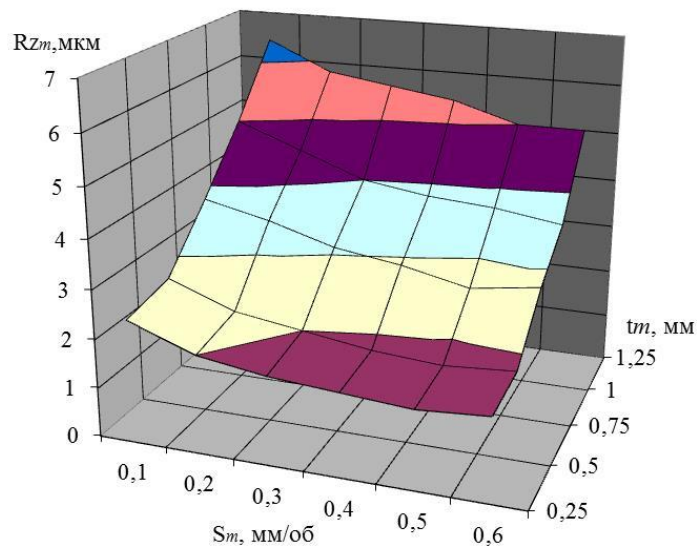


Рис. 5. Вплив поздовжньої подачі S_m на показник шорсткості Rz_m , отриманий після токарного оброблення

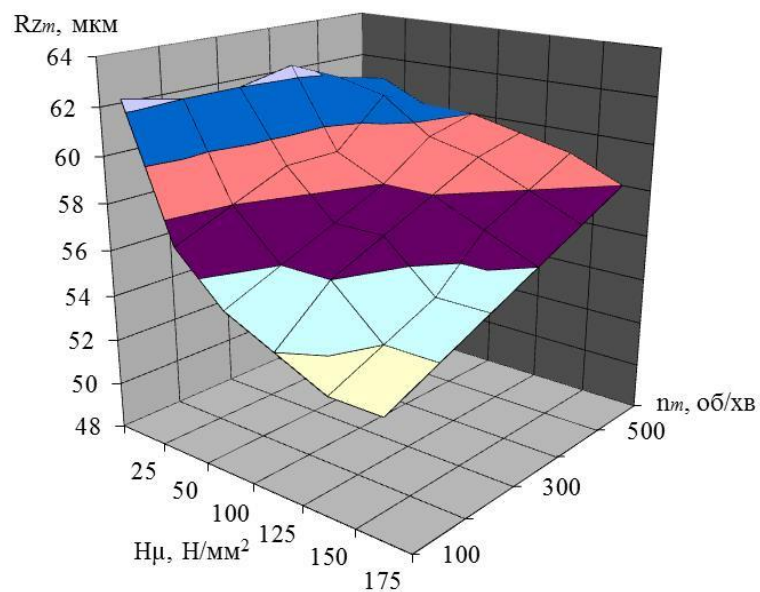


Рис. 6. Вплив частоти обертання шпинделя n_m на показник шорсткості Rz_m , отриманий після токарного оброблення

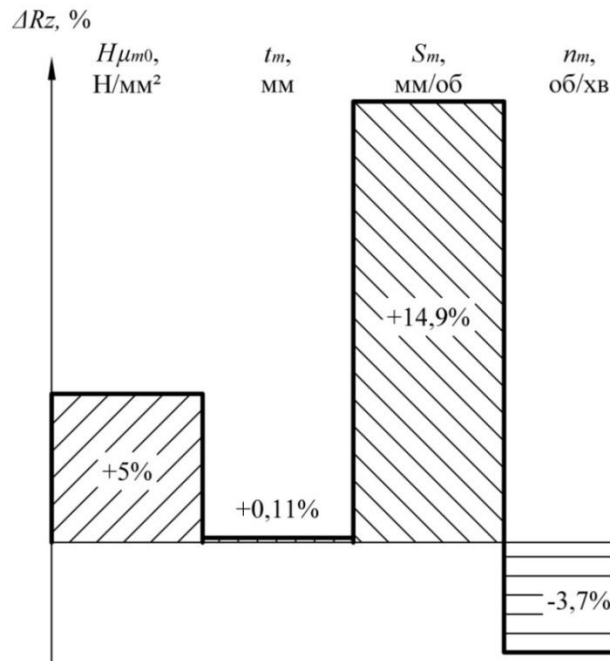


Рис. 7. Зміна значення кінцевого показника шорсткості R_z при збільшенні значень вихідної мікротвердості та параметрів технологічної системи під час токарного оброблення на 10%

Отже, серед параметрів режиму оброблення найбільш впливовим при чистовому точінні є подача S_m . Збільшення значення S_m на 10% викликає збільшення кінцевого значення шорсткості R_{z_m} на 14%. Наступним за ступенем впливу параметром технологічної системи є частота обертів шпинделя. Зі збільшенням n_m на 10% значення R_{z_m} зменшується на 3,7%. Найменший вплив на кінцеве значення R_{z_m} надає зміна значення глибини різання t_m . При збільшенні t_m на 10% R_{z_m} збільшується лише на 0,11%.

Інформаційні джерела

1. Дахнюк О.П., Приступа С.О., Ткачук А.А. Дослідження впливу технологічних факторів на енергоємність процесу різання // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямком "Інженерна механіка"). Вип. 44. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – С. 221–226.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки // – М. Машиностроение, 1990. – 206 с.
3. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, Суслов А.Г., Федоров В.П. - М.: Машиностроение, 1979.-237 с.
4. Інженерія поверхні: Підручник / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж; К. – «Наукова думка», 2007.-559с.
5. Ящерицин П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент /П.И. Ящерицин, М.Л. Еременко, П.И. Жигало. - Минск. Вышэйш школа, 1975. -528 с.

Заблоцкий В.Ю., к.т.н. Приступа С.А., к.т.н. Шимчук С.П., к.т.н.
Луцкий национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ МИКРОТВЕРДОСТИ НА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Статья посвящена вопросам установления эмпирических закономерностей формирования микрогеометрических характеристик и эксплуатационных свойств поверхности деталей типа «тело вращения» во время токарной обработки. В частности подано уравнения регрессии, характеризующий взаимосвязь микротвердости, режимов обработки и шероховатости при токарных операциях. Для определения коэффициентов предложенной зависимости, был поставлен полнофакторного эксперимент типа 2^4 . При обработке результатов эксперимента были вычислены: дисперсия воспроизводимости эксперимента, коэффициенты регрессии модели, дисперсия коэффициентов регрессии и их

доверительный интервал. По результатам эксперимента было установлено, что среди параметров режима обработки наиболее влиятельным в процессе чистового точения является подача.

Ключевые слова: микротвердость, шероховатость, полнофакторного эксперимент, токарная обработка.

V. Zablotsky, S. Prystupa, S. Shimchuk

Lutsk National Technical University

**INFLUENCE OF OUTPUT MICROFILITY ON SUCCESSFUL PARAMETERS RECEIVED
AFTER TEXTILE PROCESSING**

The article is devoted to questions of establishing empirical regularities of formation of microgeometric characteristics and operational properties of the surface of parts of the "body of rotation" type during turning. In particular, a regression equation describing the interconnection of microhardness, machining and roughness modes during turning operations is given. In order to determine the coefficients of the proposed dependence, a full-factor experiment of type 2^4 was put up. During the processing of the experimental results, the variability of the reproducibility of the experiment, the coefficients of regression of the model, the variance of the regression coefficients and their confidence interval were calculated. According to the results of the experiment it was established that among the parameters of the treatment mode the most influential in the process of finishing turning is feeding.

Keywords: microhardness, roughness, full-factor experiment, turning processing.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЙНИХ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОНВЕЄРІВ

Серед актуальних проблем гвинтових конвеєрів є підвищення експлуатаційних показників надійності і довговічності. Приведені нові конструкції секційних гнучких гвинтових робочих органів способом навивання, а не прокатування, приведені розрахункові форми для визначення величини крутних моментів, який може передавати робочий орган.

Ключові слова: секційні гнучкі гвинтові робочі органи, конвеєри, технологія навивання.

Постановка питання. Важливим завданням машинобудування є розробка нових конструкцій секційних гнучких гвинтових робочих органів (СГПРО) конвеєрів з розширеними технологічними можливостями, які забезпечують значне підвищення експлуатаційної надійності і довговічності, значне зменшення радіуса кривизни траси транспортування, зменшення енерговитрат та підвищення продуктивності праці.

Принциповою відмінністю таких конвеєрів є те, що гнучкий гвинт – робочий орган СГПРО вільно (без опор) розташовується в еластичному кожусі і по його внутрішній поверхні переміщає матеріал в зону вивантаження. При обертанні робочого органу з частотою 500...600 об/хв. спіраль фактично рівномірно розподіляє сипкий матеріал по периферії кожуха, що забезпечує його само центрування і транспортування матеріалу в зону вивантаження.

Важливим фактором, який визначає надійність і довговічність шнека, є різниця в товщині внутрішньої і зовнішньої кромки. При прокатуванні товщина зовнішньої кромки в 1,5...2,6 разів менша ніж внутрішньої, а при навиванні ця різниця зведена до мінімуму і складає 0,1...0,2мм на 1мм товщини заготовки протів 0,3...0,6мм при прокатуванні.

При дослідженні зносостійкості спіралей шнеків, які виготовляють різними способами, встановлено, що виті деталі мають переваги, які виготовляються методом навивання і довговічність їх збільшується в 1,5...2,2 рази в порівнянні з прокатуванням. Встановлено, що момент навивання в 3...7 рази менші моментів прокатування, а момент неперервного і періодичного навивання практично рівні між собою.

Основні вимоги до гнучких гвинтових конвеєрів (ГГК):

- в повній мірі забезпечити експлуатаційні вимоги ГГК в плані надійності і довговічності;
- забезпечити транспортування сипких матеріалів по криволінійних трасах на великі відстані з малими радіусами кривизни трас транспортування;
- обґрунтувати можливість виготовлення ГГРО з відносною висотою 15...20 прогресивним способом і розробити технологічне спорядження для їх виготовлення;
- розробити технологічні процеси (ТП) калібрування гвинтових заготовок(ГЗ) і спроектувати відповідне спорядження;
- розробити інструмент для заміру конструктивних параметрів шнеків;
- розробка нових конструкцій гнучких секційних робочих органів конвеєрів підвищеної продуктивності і маневреності;
- розробка нових конструкцій СГПРО з розширеними технологічними можливостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питаннями обґрунтування параметрів гвинтових робочих органів машин присвячені праці Григор'єва А.М. [1], Германа Х. [2], Куцина Л.М. [3], Омельченка О.О. [4], Гевка Б.М. [5], Рогатинського Р.М. [6], Пилипця М.І. [7], Зенкова Р.Л. [8], Баришева А.И., Бадішевського В.А. [9] та багатьох інших. Однак питання, які пов'язані зміни траси транспортування, підвищення продуктивності і маневреності робочих органів, а також підвищення їх експлуатаційної надійності і довговічності потребують свого подальшого вирішення.

Реалізація роботи. Основним напрямком розвитку гнучких гвинтових конвеєрів є створення секційних гнучких гвинтових робочих органів з різними схемами їх з'єднання і транспортування сипких матеріалів по криволінійних трасах на великі віддалі. Конструктивне виконання робочих органів секційних гнучких гвинтових конвеєрів представлені в таблиці 1.

В результаті експериментальних досліджень неперервного навивання ГГРО на оправку встановлені нижче приведені графічні залежності. Заміри моментів здійснювали при наявності сил осьового піджиму. Критерієм вибору сили підтиску була умова усунення формоутворення по внутрішній кромці. Встановлено, що не залежно від схеми навивання згинний момент змінюється прямо пропорційно товщині полоси і її ширини. При навиванні СГПРО внаслідок

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

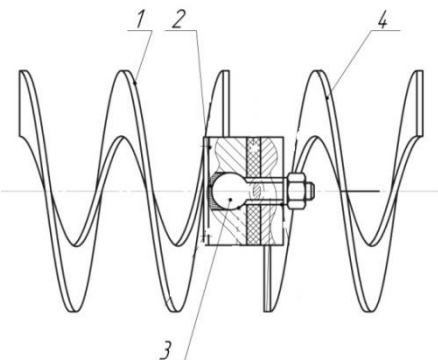
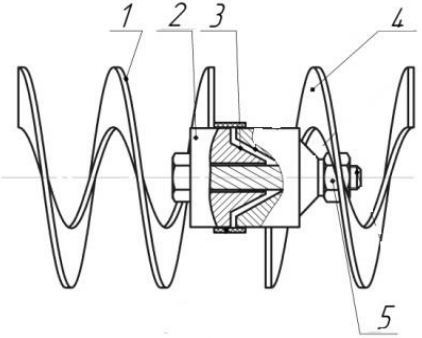
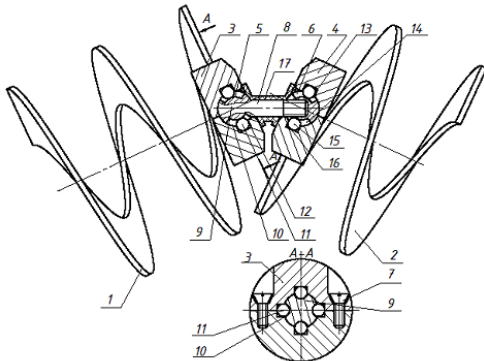
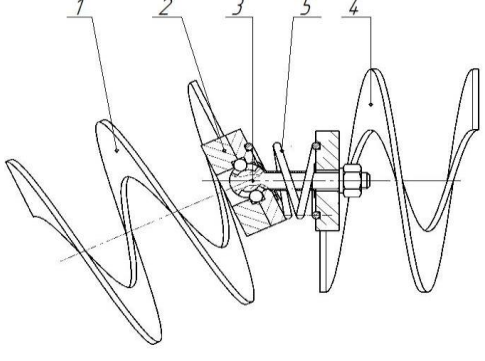
стискування внутрішніх шарів гнutoго профілю і проковзування на оправі виникає розтягувальна складова N , яка пов'язана із згинальним зусиллям $\mathcal{D}$ і моментом M_{δ} від тангенціальних напружень за висотою заготовки співвідношеннями [1]:

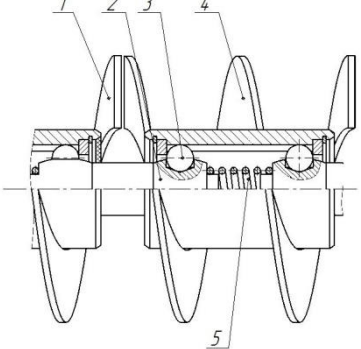
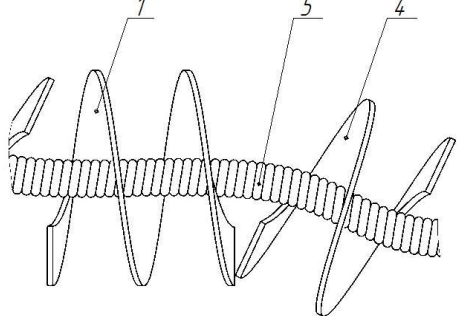
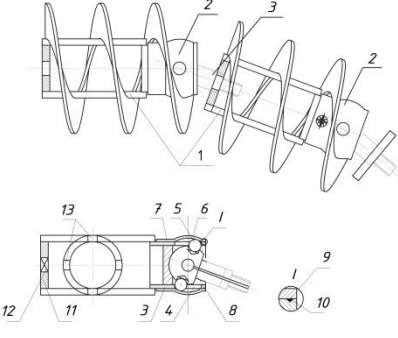
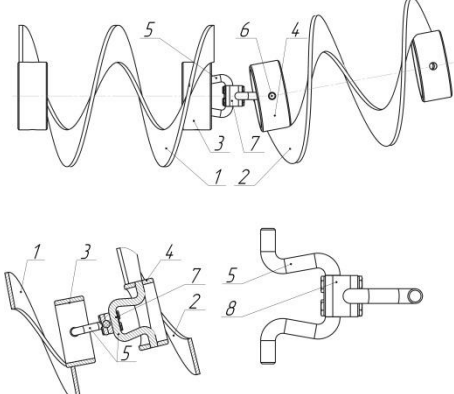
$$\dot{I}_{\dot{a}} = \rho_{np} N; \rho_{np} = \frac{M}{N} = r_0 + \frac{1}{\mu_0 + \mu_{\rho}}, \quad (1)$$

де ρ_{np} – приведений радіус прикладання поздовжньої сили N , за якої її дія адекватна спільній дії N та M_{δ} .

Таблиця 1

Конструктивне виконання робочих органів секційних гнучких гвинтових конвеєрів

Конструктивне виконання секцій гнучких гвинтового конвеєра	
1	Гнучка гвинтова спіраль з фрикційним з'єднанням [10]  $T = \frac{\pi}{2} z f p b D_{cp}^2$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.
4	Гнучка гвинтова спіраль з еліпсним з'єднанням секцій [10]  $T = f N \frac{D_{cp}}{2}$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.
2	Секційна спіраль з двохшарнірним з'єднанням [11]  $T = 2 R n N \cos \alpha_K$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.
5	Секційна гвинтова спіраль з кульковим з'єднанням [11]  $T = R n N \cos \alpha_K - \frac{T_{32}}{\cos \lambda}$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.

3	Гнучка гвинтова спіраль з шарнірним з'єднанням секцій [10]  $T = \frac{C \cdot \cos \alpha' \cdot [\Delta'_o - R_0 \cos \phi' (\sec \alpha' - 1)]}{\operatorname{tg} \left[\arcsin \left(\frac{r_k - h_n}{r_k} \right) \right]} \times$ $\times [R_0 (1 + \cos \phi' (\sec \alpha' - 1)) + r_k - h_n]$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.	6 Гвинтова секційна спіраль з гнучким валом [12]  $T = \frac{\phi E \pi^4 t_c}{4 \pi \delta_{nom} \cdot L_c \left(1 - \frac{\phi}{360} \right)}$ 1 – привідна гвинтова секція; 2 – з'єднувальна секція; 3 – передавальний елемент пружного моменту; 4 – ведена гвинтова спіраль; 5 – пружина стиснення.
7	Гнучка гвинтова спіраль [13] 	8 
$T_1 = \frac{T \left(2\pi + 4 \left(\mu_2 + \mu_3 \left(1 + \frac{r}{R} \right) \operatorname{tg} \gamma \right) \operatorname{tg} \alpha \right)}{2\pi}$ T_1 - обертовий момент на ведучому валу; $\dot{O}$ - обертовий момент; μ_2, μ_3 - коефіцієнт тертя на 2 і 3 поверхнях; z - кількість поверхонь тертя; f - коефіцієнти тертя в передачах; p - тиск в зоні передачі крутного моменту; b - ширина фрикційного диска; D_{cp} - середній діаметр фрикційного диска; R - радіус пружини; n - кількість пружин; α_K - кут нахилу секцій; T_{32} - згинний момент; λ - кут; n - кількість контактуючих кульок, $n=2;4;6;8$. R_i - радіус розміщення кульок в обоймі; N - нормальна сила в точці контакту кульок і канавок.		

На рис.1. приведена залежність моменту навивання гвинтових заготовок від ширини полоси, а на рис.2. зображена зміна зусилля згину при неперервному навиванні при різних величинах підтиску. Залежність моменту навивання гвинтових заготовок від ширини полоси товщиною 3 мм на оправку $\varnothing 40$ мм.

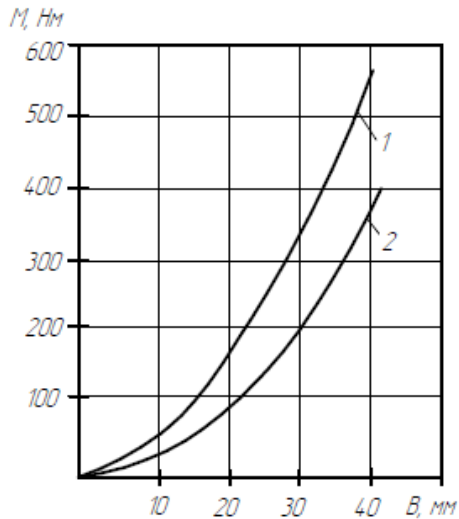


Рис. 1. Залежність моменту навивання від ширини заготовки товщиною 3мм на оправку: 1 – при осьовому підтискуванні заготовки при їх захопленні; 2 – при знятті осьового підтискування після навивання першого витка (Сталь 08КП).

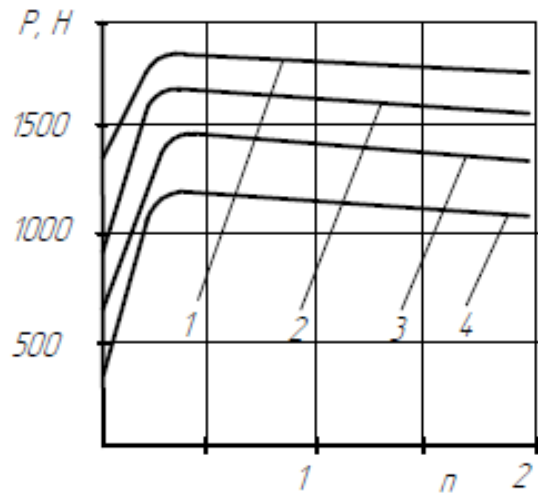


Рис. 2. Зусилля згину при неперервному навиванні стрічки 15х2мм (Ст08КП) оправку діаметром 40мм: 1 – 1320Н; 2 – 900Н; 3 – 660Н; 4 – 330Н.

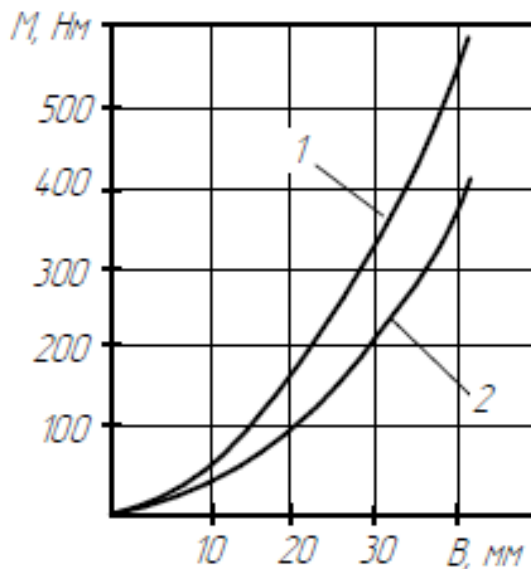


Рис. 3. Залежність моменту навивання від ширини полоси $t=30$ мм на оправку діаметром 40мм: 1 – при наявності осьового підтиску; 2 – без наявності осьового підтиску (Ст08КП)

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:
Приведені нові конструкції секційних гнучких гвинтових робочих органів конвеєрів і приведені аналітичні залежності для визначення величини крутного моменту, який передає робочий орган. Приведені графічні залежності при неперервному навиванні гвинтових робочих органів, як самого експлуатаційно надійного робочого органу.

Інформаційні джерела

1. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Герман Х. Шнековые механизмы в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л. : Машиностроение, 1975. – 230 с.
3. Куцин Л. М. Механико-технические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах : автореф. дис. на соискание наук. степени доктора техн. наук : спец. 05.20.04 «Сельскохозяйственные и миллиоративные машины» / Л. М. Куцин. – Ростов-на-Дону, 1982. – 38 с.

4. Омельченко А. А. Довідник по механізації тваринницьких і птичних ферм і комплексів / А. А. Омельченко, Б. Д. Ткач. – К. : Урожай, 1982. – 271 с.
5. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов : Вища школа, 1989. – 176 с.
6. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.
7. Пилипець М. І. Обґрунтування нових типів гвинтових робочих органів сільськогосподарських машин / М. І. Пилипець, І. Б. Гевко // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – 2000. – Т. 9. – С. 254–257.
8. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности Подъемно-транспортные машины и оборудование / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов // – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
9. Барышев А.И., Бадишевський В.А. и др. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия. Издавна. Норд-Пресс. Донецк. 2005, 640ст.
10. Поляков В.С., Барабаш И.Д. Муфты. Конструкции и расчет./ В.С.Поляков, И.Д. Барабаш // Изд.4, переработ. и доп. –Л.: Машиностроение, 1973. –336с.
11. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин./ В.Т. Павлище - К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
12. Комар Р.В. Обґрунтування параметрів з'єднувальних компенсаційних муфт з пружними гвинтовими елементами. Дис. канд. техн. наук. 05.02.02. – Хмельницький, 2004. –162ст.
13. Клендій В.М. Обґрунтування параметрів гнучких гвинтових конвеєрів з шарнірно-секційним робочим органом. Дис. канд. техн. наук 05.05.05. – Тернопіль, 20145. –21ст.
14. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков / Б. М. Гевко. – Львов : Вища школа, 1986. – 128 с.

Клендий В.М. к.т.н., Навроцкая Т.Д. аспирант

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕКЦИОННЫХ ГИБКИХ ВИНТОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОНВЕЙЕРОВ

Среди актуальных проблем винтовых конвейеров является повышение эксплуатационных показателей надежности и долговечности. Приведены новые конструкции секционных гибких винтовых рабочих органов способом навивки, а не прокатки, приведены расчетные формы для определения величины крутящих моментов, который может передавать рабочий орган.

Ключевые слова: секционные гибкие винтовые рабочие органы, конвейеры, технология навивки.

V.Klendiy, T. Navrotskaya

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF SECTIONAL FLEXIBLE SCREW WORKING BODIES OF CONVEYORS

Among the current problems of screw conveyors is the increase in reliability and durability performance. New constructions of sectional flexible screw working bodies are presented by the winding method, rather than rolling, calculation forms for determining the magnitude of the torque that the working member can transmit are given.

Key words: sectional flexible screw working parts, conveyors, winding technology.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

В работе определены основные параметры теплового процесса при шлифовании и лезвийной обработке с учетом распределения тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь. Установлено, что температура резания и глубина проникновения тепла вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали с течением времени обработки непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившимся значениям, определяемым условием теплового насыщения поверхностного слоя обрабатываемой детали. Это связано с тем, что доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, уменьшается, а доля тепла, уходящего в образующиеся стружки, наоборот, увеличивается. В результате уменьшается время нагрева поверхностного слоя детали по сравнению с временем контакта шлифовального круга с фиксированной плоскостью обрабатываемой детали, что и предопределяет существование ограничений изменения температуры резания и глубины проникновения тепла вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали. Показано, что при шлифовании эти параметры теплового процесса меньше, чем при лезвийной обработке, что связано с меньшей силовой напряженностью процесса резания и большей скоростью резания.

Ключевые слова: шлифование, лезвийная обработка, температура резания, баланс тепла, условное напряжение резания, время обработки, обрабатываемая деталь.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами. Механическая обработка является наименее энергоемкой среди всего многообразия методов обработки деталей машин, что предопределяет ее широкое практическое применение. В особой мере это относится к методам финишной обработки: шлифованию и лезвийной обработке, обеспечивающих высокие показатели качества и точности обрабатываемых поверхностей в связи с возможностью уменьшения силы и температуры резания. Вместе с тем, с увеличением производительности обработки силовая и тепловая напряженности процесса резания возрастают, что снижает качество и точность обрабатываемых поверхностей. В значительной степени увеличивается температура резания при шлифовании, что приводит к образованию на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов. Поэтому проблема уменьшения температуры резания при механической обработке является актуальной, требующей изыскания новых технологических решений на основе исследований тепловых процессов при шлифовании и лезвийной обработке, в особенности при использовании современных металлорежущих станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр» и прогрессивных абразивных и лезвийных инструментов, в частности зарубежного производства, характеризующихся высокими показателями износостойкости и режущей способности. Это позволит добиться существенного повышения производительности и качества обработки. Исследования выполнены в соответствии с тематическим планом научно-практических работ Фирмы «ДиМерус Інженеринг» ООО (г. Харьков).

Анализ последних достижений и публикаций. Проблеме исследования тепловых процессов при шлифовании и лезвийной обработке в научно-технической литературе постоянно уделяется большое внимание, так как от этого зависит качество и производительность механической обработки [1-5]. Причем, проводятся как экспериментальные, так и теоретические исследования, в результате чего разработана классическая теория теплофизики механической обработки, основанная на решении дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных для различных начальных и краевых условий. Это позволило теоретически определить параметры тепловых процессов при резании, установить основные условия уменьшения температуры резания и разработать эффективные технологические процессы металлообработки, получившие широкое практическое использование. Однако, для решения конкретных практических задач теплофизики шлифования и лезвийной обработки необходимо также и применение упрощенных инженерных расчетов, позволяющих более просто произвести расчеты температуры резания при обеспечении высокой сходимости расчетных и экспериментальных данных. Поэтому в настоящей работе получили дальнейшее развитие упрощенные

теоретические подходы к определению температуры резания при шлифовании и лезвийной обработке, предложенные в работе [6].

Цель работы – теоретическое определение условий уменьшения температуры резания при шлифовании и лезвийной обработке с учетом распределения тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь.

Материалы исследований. В предложенном упрощенном теоретическом подходе [6] к аналитическому определению температуры резания при шлифовании снимаемый припуск представлен в виде пакета элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые в процессе шлифования перерезаются шлифовальным кругом (рис. 1). Рассматривая равномерное движение теплового источника с заданной скоростью $V_{рез}$ вдоль адиабатического стержня, расчетами установлено, что температура резания θ , равная максимальной температуре нагрева адиабатического стержня, с течением времени обработки непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению, определяемому его тепловым насыщением (рис. 2).

Расчет температуры резания θ произведен на основе уравнения [7]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left(1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2}{\lambda} \cdot \tau - \frac{c \cdot \rho}{\sigma} \cdot \theta} \right), \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; τ – время контакта шлифовального круга с адиабатическим стержнем, равное времени его перерезания шлифовальным кругом, с; $V_{рез}$ – скорость перерезания адиабатического стержня шлифовальным кругом, м/с.

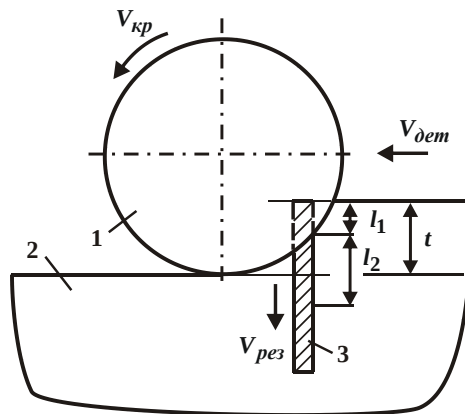


Рис. 1. Расчетная схема параметров теплового процесса при плоском шлифовании:
1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень.

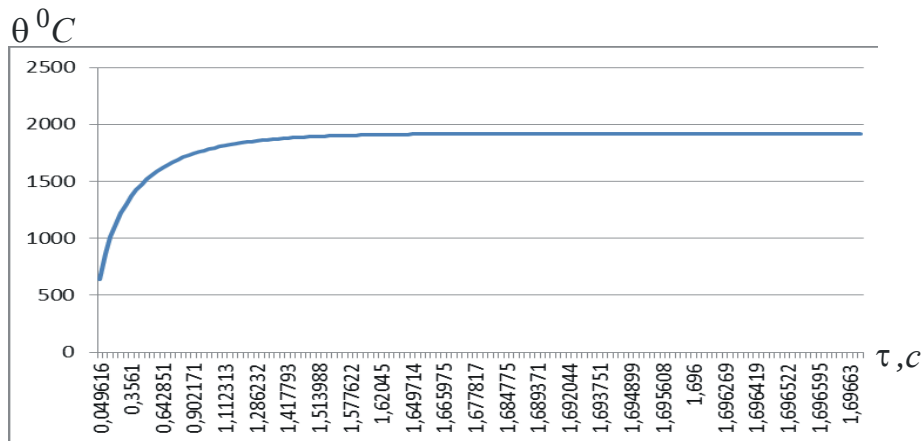


Рис. 2. Зависимость θ от τ

Использованы следующие исходные данные для шлифования стали ШХ15 (коэффициент температуропроводности $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 42 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{градус})$). Расчет условного напряжения резания σ ($\text{Н}/\text{мм}^2$) произведен по зависимости [5]: $\sigma = 2\sigma_{\text{сж}} / K_{\text{рез}}$, где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала (для стали ШХ15: $\sigma_{\text{сж}} = 2000 \text{ Н}/\text{мм}^2$); $K_{\text{рез}} = 0,4$ – коэффициент резания при шлифовании. Тогда $\sigma = 10\,000 \text{ Н}/\text{мм}^2 = 10^{10} \text{ Н}/\text{м}^2$. Скорость резания $V_{\text{рез}} = 3,33 \text{ мм}/\text{с}$.

При этом глубина l_{2n} проникновения тепла вглубь адиабатического стержня с течением времени обработки τ также непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению (рис. 3), и определяется зависимостью [7]:

$$l_{2n} = \frac{\lambda \cdot \theta}{\sigma \cdot V_{\text{рез}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_n}, \quad (2)$$

где τ_n – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании шлифовальным кругом, с.

Установившиеся (максимальные) значения температуры резания θ и параметра l_{2n} определяются зависимостями (при условии $\tau \rightarrow \infty$):

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}; \quad (3)$$

$$l_{2n} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{V_{\text{рез}}}, \quad (4)$$

исходя из условия достижения максимального значения времени нагрева адиабатического стержня при его перерезании шлифовальным кругом:

$$\tau_n = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{V_{\text{рез}}^2}. \quad (5)$$

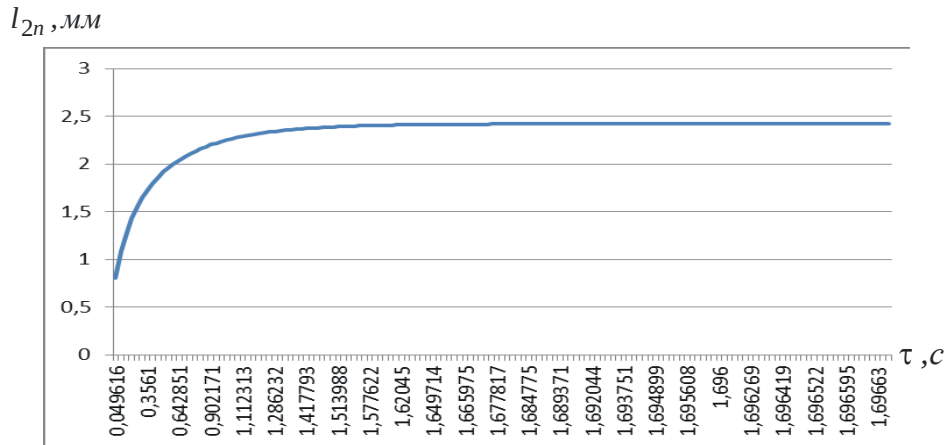


Рис. 3. Зависимость l_{2n} от τ

Установленный характер изменения температуры резания θ и параметра l_{2n} с течением времени обработки τ обусловлен тем, что время τ_n всегда меньше времени τ (рис. 4). Физически это означает, что время $(\tau - \tau_n)$ определяет время нагрева образующихся стружек, а время τ_n – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании шлифовальным кругом вследствие теплопроводности материала стержня.

Уравнение баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и адиабатический стержень, принимает вид:

$$Q_{\text{стружка}} + Q_{\text{стержень}} = N \cdot \tau \quad (6)$$

или

$$N \cdot (\tau - \tau_n) + N \cdot \tau_n = N \cdot \tau, \quad (7)$$

где $Q_{\text{стружк}} = N \cdot (\tau - \tau_n)$ – количество тепла, уходящего в образующиеся стружки, Дж; $Q_{\text{стерж}} = N \cdot \tau_n$ – количество тепла, уходящего в адиабатический стержень, Дж; $N = q \cdot F$ – мощность шлифования, Вт; $q = \sigma \cdot V_{\text{рез}}$ – плотность теплового потока, Вт/м²; σ – условное напряжение резания, Н/м²; F – площадь поперечного сечения адиабатического стержня, м².

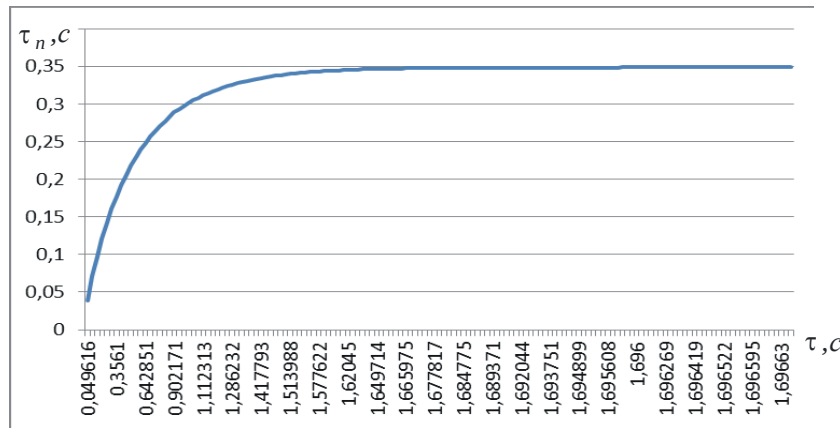


Рис. 4. Зависимость τ_n от τ

Уравнение (7) можно представить в виде

$$\frac{(\tau - \tau_n)}{\tau} + \frac{\tau_n}{\tau} = 1. \quad (8)$$

Первое слагаемое уравнения (8) определяет долю образующегося при шлифовании тепла, уходящего в образующиеся стружки, а второе слагаемое – долю образующегося при шлифовании тепла, уходящего в адиабатический стержень, т.е. в поверхностный слой обрабатываемой детали.

Для удобства расчетов уравнение (1) представлено в виде зависимости для определения времени перерезания адиабатического стержня шлифовальным кругом

$$\tau = -\frac{2}{m} \cdot \sqrt{\tau_n} - \frac{2}{m^2} \cdot \ln(1 - m \cdot \sqrt{\tau_n}), \quad (9)$$

где $m = 2 \cdot V_{\text{рез}} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}}$.

Рассмотрены условия плоского шлифования закаленной стали ШХ15 абразивным кругом радиусом $R_{\text{кр}} = 0,2$ м, глубиной шлифования $t = 0,01 \cdot 10^{-3}$ м и удельной производительностью обработки $Q_{\text{уд}} = 400$ мм²/мин; $V_{\text{рез}} = Q_{\text{уд}} / \sqrt{2t \cdot R_{\text{кр}}} = 3,33$ мм/с; $\sigma = 10^{10}$ Н/м². Задавая значения τ_n , по зависимости (9) можно произвести расчет времени τ , а по зависимостям (1) и (2) – температуры резания θ и параметра l_{2n} .

В табл. 1 приведены расчетные значения отношений $(\tau - \tau_n)/\tau$ и τ_n/τ , определяющих первое и второе слагаемые уравнения (8). Как видно, с увеличением времени τ отношение $(\tau - \tau_n)/\tau$ увеличивается, а отношение τ_n/τ , наоборот, уменьшается. Следовательно, с увеличением времени τ доля тепла, уходящего в образующиеся стружки, увеличивается, а доля тепла, уходящего в адиабатический стержень, уменьшается.

Как видно, характер изменения отношений $(\tau - \tau_n)/\tau$ и τ_n/τ остается таким же, как и при шлифовании, однако абсолютные значения τ и τ_n значительно меньше. Это приводит к уменьшению температуры резания θ и глубины проникновения тепла вглубь адиабатического стержня l_{2n} по сравнению с шлифованием.

В этом случае появляется возможность осуществления на практике установившегося значения температуры резания (рис. 2), что обеспечивает увеличение производительности обработки без увеличения температуры резания и открывает новые перспективы высокопроизводительной и высококачественной обработки. При шлифовании такое условие фактически невыполнимо, т.к. время τ контакта шлифовального круга с фиксированным

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

сечением обрабатываемой детали (время перерезания адиабатического стержня шлифовальным кругом) значительно меньше времени τ_n и температура резания θ не успевает достичь установившегося значения.

Таблица 1

Расчетные значения параметров τ , l_{2n} , θ , $(\tau - \tau_n)/\tau$ и τ_n/τ при шлифовании

τ , с	τ_n , с	l_{2n} , мм	θ , град	$(\tau - \tau_n)/\tau$	τ_n/τ
0,030323	0,025	0,648267	513,8701	0,175552	0,824448
0,066795	0,05	0,916788	726,7221	0,251435	0,748565
0,108916	0,075	1,122831	890,0492	0,311393	0,688607
0,157085	0,1	1,296534	1027,74	0,363402	0,636598
0,212078	0,125	1,449569	1149,049	0,410595	0,589405
0,275043	0,15	1,587923	1258,72	0,454631	0,545369
0,347606	0,175	1,715153	1359,573	0,496556	0,503444
0,432091	0,2	1,833576	1453,444	0,537135	0,462865
0,531923	0,225	1,944801	1541,61	0,577006	0,422994
0,652395	0,25	2,05	1625	0,616797	0,383203
0,802292	0,275	2,150058	1704,314	0,657232	0,342768
0,997788	0,3	2,245662	1780,098	0,699335	0,300665
1,274021	0,325	2,33736	1852,785	0,744902	0,255098
1,735189	0,35	2,425593	1922,726	0,798293	0,201707
3,266376	0,375	2,510727	1990,21	0,885194	0,114806

В табл. 2 приведены расчетные значения отношений $(\tau - \tau_n)/\tau$ и τ_n/τ для процесса точения с учетом исходных данных: $V_{рез}=2,92$ м/с; $\sigma=0,346 \cdot 10^{10}$ Н/м².

Таблица 2

Расчетные значения параметров τ , l_{2n} , θ , $(\tau - \tau_n)/\tau$ и τ_n/τ при точении

τ , с	τ_n , с	l_{2n} , мм	θ , град	$(\tau - \tau_n)/\tau$	τ_n/τ
0,00000006	0,00000005	0,000917	172,9947	0,170594	0,829406
0,00000013	0,0000001	0,001297	244,6515	0,244215	0,755785
0,00000021	0,00000015	0,001588	299,6357	0,302303	0,697697
0,00000031	0,0000002	0,001834	345,9895	0,352609	0,647391
0,00000042	0,00000025	0,00205	386,828	0,39817	0,60183
0,00000054	0,0000003	0,002246	423,7488	0,440582	0,559418
0,00000067	0,00000035	0,002426	457,7011	0,480842	0,519158
0,00000083	0,0000004	0,002593	489,303	0,519659	0,480341
0,00000102	0,00000045	0,00275	518,9842	0,557603	0,442397
0,00000124	0,0000005	0,002899	547,0574	0,595196	0,404804
0,00000150	0,00000055	0,003041	573,7586	0,632994	0,367006
0,00000183	0,0000006	0,003176	599,2714	0,671688	0,328312
0,00000226	0,00000065	0,003306	623,7414	0,712311	0,287689
0,00000288	0,0000007	0,00343	647,287	0,756774	0,243226
0,00000395	0,00000075	0,003551	670,0057	0,810045	0,189955

Поэтому температура резания θ с увеличением времени τ будет увеличиваться до определенного значения, которое меньше установившегося значения. В связи с этим, с определенными физическими допущениями расчет температуры резания θ при шлифовании можно производить без учета перерезания адиабатического стержня шлифовальным кругом и перемещения теплового источника вглубь адиабатического стержня, т.е. рассматривая справедливым условие $\tau = \tau_n$ во всем диапазоне изменения времени τ . Несомненно, это приведет к некоторому увеличению температуры резания θ , поскольку все выделяющееся при шлифовании тепло будет уходить в обрабатываемую деталь. Полученные теоретические решения использованы при разработке и внедрении в производство на ряде предприятий Украины эффективных технологических процессов механической обработки высокоточных деталей.

Выводы. В работе определены основные параметры теплового процесса при шлифовании и лезвийной обработке с учетом распределения тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь. Установлено, что температура резания и глубина проникновения тепла вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали с течением времени обработки непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившимся значениям, определяемым условием теплового насыщения поверхностного слоя обрабатываемой детали. Это связано с тем, что доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, уменьшается, а доля тепла, уходящего в образующиеся стружки, наоборот, увеличивается. В результате уменьшается время нагрева поверхностного слоя детали по сравнению с временем контакта шлифовального круга с фиксированной плоскостью обрабатываемой детали, что и предопределяет существование ограничений изменения температуры резания и глубины проникновения тепла вглубь поверхностного слоя детали. Показано, что при шлифовании эти параметры теплового процесса меньше, чем при лезвийной обработке, что связано с меньшей силовой напряженностью процесса резания и большей скоростью резания.

Перспективы дальнейшей работы в данном направлении. В дальнейшей работе следует провести анализ влияния силовой напряженности процесса резания на условиях формирования температуры резания, т.е. установить функциональные связи между условным напряжением резания и основными параметрами процесса резания для различных схем механической обработки и на этой основе оценить закономерности изменения температуры резания.

Информационные источники

1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
3. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 127 с.
4. Сизый Ю.А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю.А. Сизый, Д.В. Сталинский. – Х.: ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – 448 с.
5. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса : ОГПУ, 1999. – 450 с.
6. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: междунар. Научн.-техн. конф., 19-20 апреля 2007 г.: труды – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 8-20.
7. Кленов О.С. Расчет и анализ температуры резания при шлифовании / О.С. Кленов, Ф.В. Новиков, И.В. Гершиков, А.А. Андилаха // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2015. – Вип. 31. – 2015. – С. 118–125.

Кленов О.С., к.т.н.

Фірма «ДіМерус Інженеринг» ТОВ, м. Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТА ЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ

В роботі визначено основні параметри теплового процесу при шліфуванні та лезовій обробці з урахуванням розподілу тепла, що йде в стружки, що утворюються, й оброблювану деталь. Встановлено, що температура різання й глибина проникнення тепла вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі з часом обробки безперервно збільшуються, асимптотичне наближаючись до усталених значень, що визначаються умовою теплового насичення поверхневого шару оброблюваної деталі. Це пов'язано з тим, що частка тепла, що йде в оброблювану деталь, зменшується, а частка тепла, що йде в стружки, що утворюються, навпаки, збільшується. В результаті зменшується час нагріву поверхневого шару деталі порівняно з часом контакту шліфувального круга з фіксованою площиною оброблюваної деталі, що і зумовлює існування обмежень зміни температури різання й глибини проникнення тепла вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі. Показано, що при шліфуванні ці параметри теплового процесу менше, ніж при лезовій обробці, що пов'язано з меншою силовою напруженістю процесу різання і більшою швидкістю різання.

Ключові слова: шліфування, лезова обробка, температура різання, баланс тепла, умовне напруження різання, час обробки, оброблювальна деталь.

O. Klenov

Firm "DiMerus Engineering" LLC, Kharkov

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THERMAL PROCESS AT SANDING AND FORESTRY TREATMENT

The main parameters of the thermal process during grinding and blade processing are determined taking into account the heat distribution that goes into the formed chips and the workpiece. It is established that the cutting temperature and the depth of penetration of heat into the surface layer of the workpiece with the processing time increase continuously, asymptotically approaching the steady-state values determined by the condition of thermal saturation of the surface layer of the workpiece. This is due to the fact that the proportion of heat leaving into the workpiece decreases, and the proportion of heat leaving into the formed chips, on the contrary, increases. As a result, the heating time of the surface layer of the part decreases as compared with the contact time of the grinding wheel with the fixed plane of the workpiece, which predetermines the existence of limitations on the cutting temperature and the depth of penetration of heat deep into the surface layer of the workpiece. It is shown that when grinding these parameters of the thermal process are less than in the case of blade cutting, which is associated with a lower strength of the cutting process and a higher cutting speed.

Key words: grinding, blade processing, cutting temperature, heat balance, conditional cutting stress, machining time, workpiece.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет; Харківська філія Українського науково-дослідного інституту прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого

НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВИХ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ

В статті запропоновано метод встановлення нормативних (номінальних) значень показників при розробці нових методів випробувань, з урахуванням допуску на похибку і невизначеність вимірювання. Суть методики заключається в попередньому розрахунку значень невизначеності і похибки, що виникають при вимірюванні, проведення попередньої серії вимірювання, встановлення точнісних характеристик попередньої серії, визначення необхідної кількості вимірювань для основної серії, встановлення нормативних і допустимих значень.

Ключові слова: нормування показника, попередня серія вимірювань, основна серія вимірювань, допустиме значення, метод випробування, невизначеність вимірювання, похибка вимірювання, допустимий інтервал.

Постановка проблеми. Однією з основних (першочергових) задач в умовах технічного регулювання є розробка нових (сучасних) методів випробувань. Ця умова витікає із умов науково-технічного прогресу та сучасного розвитку техніки і засобів контролю її технічного стану. Існуючі методи випробувань є надійними. Проте, в деяких випадках, застосовувані засоби вимірювальної техніки, випробувальне устаткування і сама методика випробувань не відповідають об'єкту випробувань. Тому особливу увагу необхідно приділяти розробці нових методів і методик, а також питанням нормування визначуваних показників, тобто встановлення їхніх номінальних значень, а також метрологічного допуску на ці значення.

В статті запропоновано метод встановлення нормативних (номінальних) значень показників при розробці нових методів випробувань, з урахуванням метрологічного допуску на похибку і невизначеність вимірювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розробці нових методів випробувань і, відповідно, розробці нових показників ефективності, за якими буде оцінюватись фактичний стан об'єктів випробувань, постає питання встановлення інтервалу значень в якому значення показника, що контролюється буде відповідати певному рівню [1]. Ця задача стає актуальною, оскільки усі вимірювання супроводжуються певними похибками і невизначеністю.

З введенням в дію Технічного регламенту [2] постало питання розробки нових методів випробувань машин, а також розробки прискорених методів випробування (діагностування) які дозволять без втручання у конструкцію машини дати попередній висновок про технічний стан її вузлів і надати рекомендації про направлення машини на подальше конкретне обстеження. Крім цього, в галузі випробувань набувають популярності так звані «фокус-тести». Це випробування по визначенню конкретного показника (погодженого із замовником), з метою висвітлення споживчих якостей машини або її безпечності. Актуальність цього напрямку розвитку випробувань підтверджується і Тематичним планом науково-випробувальних робіт Українського науково-дослідного інституту прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого «Наукові засади розвитку технічної політики та модернізації агропромислового комплексу України в умовах Євроінтеграції» на 2017-2019 роки, затвердженим Міністерством аграрної політики України. Слід зауважити, що фокус-тести, здебільшого, проводяться за незастандартизованими методами і методиками.

На сьогоднішній день перспективним напрямком розвитку випробувань машин є метод парціальних прискорень [3]. Цей метод відносно простий у використанні і базується на принципах кінемодинаміки. Крім цього реалізація методу парціальних прискорень проводиться із використанням сучасних засобів вимірювальної техніки на основі MEMS-технологій [4].

У відомій літературі питанням нормування показників при розробці нових методів випробувань приділено мало уваги. Основна увага приділялась питання підвищення точності вимірювань при діагностуванні і випробуванні уже відомими методами [5, 6]. Також значна увага приділена конструюванню випробувального устаткування, на основі існуючих методів випробувань.

Виділення невирішеної проблеми. Об'єктивна кількісна оцінка технічного стану

об'єкту випробувань за поточними значеннями контрольованих параметрів може бути отримана в тому випадку, якщо правильно і обґрунтовано встановлені їхні номінальні і допустимі значення. Метод парціальних прискорень [3] є дієвим інструментом у розвитку нових методів динамічних випробувань мобільних машин (автомобілів і тракторів). Не вирішеними залишаються питання встановлення нормативних значень показників, які визначаються при випробуваннях і встановлення метрологічного допуску на ці значення з урахуванням похибки і невизначеності вимірювання. Крім цього окремого вирішення потребує питання встановлення граничних значень запропонованих показників.

Мета і постановка задач дослідження. Метою дослідження є розробка методу встановлення нормативних значень показників при розробці нових методів випробувань і метрологічного допуску на їх величину з урахування похибки і невизначеності вимірювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити алгоритм нормування показника і встановлення метрологічного допуску на його величину з урахуванням похибки і невизначеності вимірювання.

Результати дослідження. Алгоритм встановлення нормативного значення показника і метрологічного допуску. Експлуатація мобільних машин в різних галузях супроводжується високими затратами на підтримання їх працездатного стану протягом усього терміну служби. Для підвищення ефективності використання мобільних машин розроблені методи і засоби випробувань, які застосовують як при технічному обслуговуванні і після ремонту, так і в якості самостійного технологічного процесу при підтвердженні відповідності.

Важливим етапом розробки системи підтвердження відповідності шляхом випробувань є обґрунтування і визначення нормативних значень показників технічного стану машини в цілому і її окремих елементів, що забезпечують постановку діагнозу технічного стану. До нормативних значень відносять номінальні, граничні і допустимі значення [7]. Номінальні значення [7] відповідають новим, технічно-справним машинам, агрегатам, вузлам, елементам. Граничне значення параметра [7] відповідає такому стану, коли подальша експлуатація стає технічно неможливою або економічно недоцільною. Допустимі значення [7] являють собою граничне значення, при якому забезпечується заданий або економічно оптимальний рівень ймовірності відмови за міжконтрольного напруження. Номінальні і граничні значення структурних параметрів елементів машин встановлюються виробниками в галузевій нормативній документації.

Кожне вимірювання супроводжується певною похибкою і невизначеністю. Причини їх виникнення достатньо добре описані у відомій літературі. Невизначеність вимірювання – це параметр вимірювання, характеризує інтервал значень вимірюваного показника, які обґрунтовано можуть, з певною ймовірністю, можуть бути приписані вимірюваній величині [8] (рис. 1). При встановленні нормативного значення показника, необхідно жадати, щоб невизначеність була якнайменшою. Проте, в силу дію випадкових об'єктивних і суб'єктивних причин, невизначеність завжди залишається. Суб'єктивною основною причиною невизначеності (розкиду вимірюваних значень від досліду до досліду), при проведенні випробувань є «випробувач». Тобто людина, що проводить випробування із своїми індивідуальними фізіологічними можливостями і досвідом при приведенні в дію органів керування машини. Менш впливовим фактором на невизначеність при динамічних випробуваннях мобільних машин є дорога або фон на яких проводяться випробування та стан коліс машини. Обґрунтувати вимоги до дороги і коліс можливо, проте незавжди можливо забезпечити повну відтворюваність цих вимог.

Введемо поняття – метрологічний допуск – це інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню.

Алгоритм встановлення нормативного значення показника і метрологічного допуску на його визначення наступний:

- обґрунтування методу і методики його реалізації;
- попередня серія вимірювань: експериментальне встановлення попередніх даних про точнісні характеристики методу (невизначеність вимірювання, оцінка результату вимірювання і її похибка, середньоквадратичне відхилення результату вимірювання і його похибка, коефіцієнт варіації) шляхом проведення серії попередніх випробувань за розробленою методикою, аналітичне визначення необхідного числа вимірювань для встановлення нормативного значення із заданою невизначеністю;

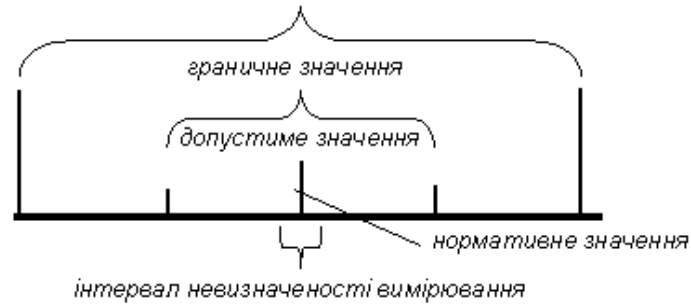


Рис. 1. Невизначеність вимірювання і значення контролюємого показника

- основна серія вимірювань: експериментально-аналітичне визначення нормативного значення показника, визначення метрологічного допуску на контрольований показник;
- коригування (за необхідності) вимог до методу випробувань в частині похибки (невизначеності) засобу вимірювальної техніки. Що використовується при випробуваннях.

Обґрунтування методу і методики його реалізації. Обґрунтування методу випробувань і методики його здійснення проводиться шляхом наукових досліджень і аналізу закономірностей зміни технічного стану за досліджуванним параметром. На цьому етапі встановлюється рівняння вимірювання, залежність зміни вихідної величини від зміни вхідної. Проводяться аналітичні розрахунки з використанням теорії чутливості [9]. На основі цих розрахунків встановлюються орієнтовні значення довірчого інтервалу і невизначеності вимірювання.

Попередня серія вимірювань. Попередня серія вимірювань проводиться з метою встановлення попередніх даних про метод, його чутливість до випадкових впливаючих факторів. Дані про точнісні характеристики методу визначаються шляхом проведення серії випробувань за розробленою методикою. Випробування проводяться на технічно-справному (новому) об'єкті, що підтверджено результатами випробувань іншими (стандартизованими) методами. На цьому етапі нормування, в наявності у випробувача є лише дані про похибку засобу вимірювальної техніки, яким проводиться вимірювання, або про невизначеність його калібрування.

Попередня серія вимірювання складається з одного або декількох етапів. На кожному етапі отримується певна група даних. Кількість вимірювань на першому етапі залежить від кількості перемінних факторів, що призводять до випадкової похибки вимірювання, які можна врахувати. Орієнтовно на першому етапі проводиться 10-20 вимірювань. Результати вимірювання перевіряються на наявність викидів [10]. Критерієм придатності попередньої серії є виконання умови, за якої похибка середньоарифметичного значення показника повинна бути меншою систематичної похибки вимірювання Δ_c

$$\Delta \bar{x}_{i1} < \Delta_c. \quad (1)$$

де [8]

$$\Delta \bar{x}_{i1} = \pm t \frac{\sigma_{i1}}{\sqrt{n_{i1}}}, \quad (2)$$

t – коефіцієнт Стюдента, що залежить від числа вимірювань при довірчій ймовірності $P=0,95$; σ_{i1} , n_{i1} – середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань і число вимірювань в попередній серії на першому етапі, відповідно.

Умова (1) буде виконана, якщо $\Delta \bar{x}_{i1} = 1/3 \Delta_c$ [11]. У разі невиконання умови (1), необхідно здійснити ще один етап вимірювань в кількості $n_{i2}=10-20$. Провести розрахунки по (1) і (2) з урахуванням вимірювань першої групи. Такий критерій допустимий, оскільки в результаті вимірювання контрольованого параметра об'єкта випробувань переважає випадкова похибка.

На наступному етапі проводяться розрахунки коефіцієнту варіації v_n [12] та розширеної невизначеності U_n [8]. Коефіцієнт варіації використовується в якості додаткової перевірки. Його значення не повинно перевищувати 15 %. У разі перевищення коефіцієнтом варіації допустимого значення, проводять нові вимірювання попередньої серії випробувань.

У разі виконання умови (1) та відповідності коефіцієнту варіації v_n , робиться висновок про те, що запропонований метод випробувань є дієвим і дає надійні результати.

Основна серія вимірювань. Нормативне значення показника, розраховане за попередньою серією вимірювань, з однаковою ймовірністю може знаходитись в інтервалі $\pm U_n$. При номінальному значенні нормованого показника, формулювання висновку про рівень

об'єкту випробувань не викликає ніяких труднощів. Проте, із наближенням його значення до допустимого або граничного значення, виникають певні труднощі із формулюванням висновку. Для звуження інтервалу, в якому може знаходитись нормативне значення показника необхідно провести основну серію вимірювань.

Кількість вимірювань n_0 в основній серії визначається виходячи із значень середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту варіації при довірчій ймовірності $P=0,99$ (таке посилення вимог до точності дає змогу звужити інтервал у якому буде знаходитись нормативне значення показника).

Визначимо із (2) необхідну кількість вимірювань основної серії:

$$n_i = \frac{t^2 \sigma_i^2}{\Delta \bar{x}_i^2}, \quad (3)$$

де σ_i , $\Delta \bar{x}_i$ – середньоквадратичне відхилення і похибка визначення середнього значення показника у попередній серії вимірювань, відповідно.

Провівши основну серію вимірювань в кількості n_0 , результати перевіряються на наявність викидів [10]. Потім розраховується розширена невизначеність вимірювання основної серії U_0 [8].

Метрологічний допуск на контрольований параметр доцільно встановити в межах $\pm 2U_0$, але не більше ніж $\pm U_n$. Це забезпечить врахування невизначеності від факторів, що змінюються від досліду до досліду. При реалізації нового методу, невизначеність вимірювання не повинна перевищувати U_0 .

Коригування вимог до методу випробувань проводиться за необхідності. Наприклад, якщо в результаті вимірювання показника даним засобом вимірювальної техніки не може бути отримане значення невизначеності U_0 , то необхідно обґрунтувати вибір нового засобу вимірювальної техніки з меншим значенням систематичної похибки, що в свою чергу зменшить невизначеність вимірювання типу В і, як наслідок, зменшить значення розширеної невизначеності [8].

За результатами нормування складається звіт.

Висновки. Розроблений метод встановлення нормативних (номінальних) значень показників при розробці нових методів випробувань базується на використанні похибок і невизначеності вимірювання. Введено поняття метрологічного допуску, суть якого інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню. Окремого дослідження потребують питання обґрунтування взаємозв'язку точності і невизначеності вимірювання та фактичних числових значень результатів вимірювання та обґрунтування показників валідації методу.

Інформаційні джерела

1. Bolychevtsev A. D. Some methodological aspects of the problem of increasing the quality of technical supervision / A. D. Bolychevtsev, L. A. Bolychevtseva // Measurement Techniques. –2006. – № 11. – Р 1079-1084.
2. Постанова КМУ Про затвердження Технічного регламенту щодо складових частин і характеристик сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів від 28.12.2011 № 1368.
3. Метод парциальных ускорений и его приложение в динамике мобильных машин / [Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский и др.]. – Х.: «Міськдрук», 2012. – 220 с.
4. Коробко А. І. Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / А. І. Коробко. – Харків, 2013. – 20 с.
5. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля / А.Г. Сергеев. – М.: Транспорт, 1980. – 188 с.
6. Сергеев А. Г. Метрологическое обеспечение автомобильного транспорта / А. Г. Сергеев. – М. : Транспорт, 1988. – 247 с.
7. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов / под общ. ред. В. М. Михлина. – М. : Колос, 1978. – 287 с.
8. Захаров И. П. Неопределенность измерений. Для чайников и... начальников. Учебное пособие. Издание 3-е переработанное и дополненное / И. П. Захаров. – Харьков : ФЛП Андреев К. В., 2015. – 51 с.

9. Томович Р. Общая теория чувствительности / Р. Томович, М. Вукобратович. [Пер. с сербск. и англ., под ред. Ципкина Я. З.]. – М. : Изд-во «Советское радио», 1972. – 240 с.
10. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 (ГОСТ ISO 5725-1:2003, IDT). — [Чинний від 2006-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2005. — VIII, 29 с. — (Національний стандарт України).
11. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения : ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 — [Чинний від 2008-10-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2007. — 18 с. — (Державний стандарт України).
12. Вентцель Е. В. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. / Вентцель Е. В., Овчарова Л. А. – М. : 2000. – 383 с.

Коробко А.И., к.т.н.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет; Харьковский филиал Украинского научно-исследовательского института прогнозирования и испытаний техники и технологий для сельскохозяйственного производства им. Л. Погорелого

НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

В статье предложен метод установления нормативных (номинальных) значений показателей при разработке новых методов испытаний, с учетом допуска на погрешность неопределенность измерения. Суть метода заключается в предварительном расчете значений неопределенности и погрешности, возникающих при измерении, проведении предварительной серии измерений, установления точностных характеристик предварительной серии, определения необходимого количества измерений для основной серии, установления нормативных и допустимых значений.

Ключевые слова: нормирование показателя, предварительная серия измерений, основная серия измерений, допустимое значение, метод испытаний, неопределенность измерения, погрешность измерения, допустимый интервал.

Korobko A., Ph. D., Associate Professor

Kharkiv national automobile and highway University; "Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production" Kharkiv branch

RATIONING OF INDICATORS IN THE FORMULATION NEW TEST METHODS

The article proposed a method of establishing normative and acceptable standard values of indicators in the development of new test methods. The method consists in the preliminary calculation of the uncertainty values and the uncertainty in the measurement, the preliminary measurement series, the establishment of precision characteristics of the pre-series, determining the required number of measurements for the main series, the establishment of regulatory and acceptable values.

Keywords: rationing indicator, a preliminary series of measurements, the main series of measurements, the valid value, test method, the uncertainty of the measurement, the error of measurement, the valid interval.

**РОЗРОБКА 4х-КООРДИНАТНОГО ГОНІОМЕТРА ДЛЯ ЮСТИРУВАННЯ ОПТИКИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Налагодження та юстирування засобів освітлення транспортних засобів, таких як фари та фонарі, підвищення надійності та ефективності їх експлуатації виконується із використанням гоніометрів. В роботі авторами виконано аналіз сучасних конструкцій гоніометрів для юстирування світлової оптики транспортних засобів. На основі аналізу встановлено, що розробка таких пристроїв у різних джерелах інформації розглянута тільки у загальному вигляді, на рівні технічних характеристик, і потребує додаткової розробки та досліджень. З огляду на конструкції та класифікації гоніометрів встановлено, що оптимальною є конструкція з чотирма координатами, з яких дві координати для кутових переміщень відносно горизонтальної та вертикальної осі, а дві координати лінійних переміщень у горизонтальній площині. Розроблені принципова і функціональна схеми пристрою, а також схема управління і подана методика конструювання пристрою на основі розроблених схем. Проведено дослідження можливостей пристрою та розроблені рекомендації щодо його впровадження у виробництво.

Ключові слова: фара, ліхтар, кут, автоматизація, точність, випробування

Постанова проблеми. Безпека транспортних засобів у всіх сферах їх застосування є однією з найважливіших проблем з безпеки життєдіяльності. Виробники та експлуатаційники пред'являють високі вимоги щодо безпеки транспортних засобів. Важливе місце у цих вимогах займають системи світлової оптики, які забезпечують можливість використання транспорту як у темну пору суток, так і в умовах обмеженої видимості. Тому налагодження та юстирування засобів освітлення транспортних засобів, підвищення надійності та ефективності їх експлуатації є актуальною проблемою. Актуальність обраної теми пов'язана з необхідністю автоматизації контролю (юстирування) світлової оптики при її масовому виробництві в умовах підвищення вимог якості до цих виробів. Існують різного типу пристрої для юстирування (гоніометри), але такі пристрої або не відповідають технічним умовам та вимогам виробника оптики, або економічна доцільність їх використання у зв'язку із значною ціною підлягає сумніву. Такі пристрої у різних джерелах інформації розглянуті тільки у загальному вигляді, на рівні технічних характеристик. Отже створення гоніометру потребує додаткової конструкторської розробки та наукових досліджень. Тому мета роботи – на основі аналізу сучасних конструкцій розробити гоніометр для юстирування світлової оптики транспортних засобів мінімальної собівартості, дослідити його можливості тестуванням та надати рекомендації з приводу його використання. В роботі були вирішені такі задачі:

- виконано аналіз сучасних конструкцій пристроїв світлової оптики;
- розроблено принципова і функціональна схеми та схема управління;
- виконано конструювання пристрою на основі розроблених схем;
- виготовлено пристрій та досліджено його можливості тестуванням;
- розроблені рекомендації з його використання.

Огляд та аналіз конструкцій сучасних гоніометрів. Для юстирування автомобільних фар може бути запропонована конструкція гоніометрів фірми *Standa Ltd* [1]. Але гоніометр має тільки рухомі вісі обертання (А,В), що знижує його універсальність при використанні. Позитивом є електронне управління осями обертання. Конструктивні варіанти гоніометра надає фірма *LabSpion* (assists with new light measurement standards) [2]. Звертає увагу актуальність конструкції. Обертальні рухи здійснюються навколо трьох осей – А,В,С, причому одна з осей (наприклад В) повторюється у верхній та нижній частині дугового сектора. Така конструктивна схема є позитивною з точки зору налагодження центру обертання на перетині двох осей. З огляду на конструкцію можна зробити висновок, що управління здійснюється без застосування електроприводу, що знижує ефективність використання гоніометра. Існують гоніометри ручного управління (*Manual Goniometer Stage, Vacuum Compatible*) з можливістю використання у вакуумі [4]. Пристрій жорсткого механічного виконання з рамкою для установалення кругової або сферичної оптики. Відсутність поступальних переміщень та електронного приводу знижують ефективність його використання. Найбільш сучасною конструкцією, що відповідає значній механічній жорсткості та надійності є гоніометр фірми *SmarAct* із шістьма ступенями

вільності [5]. У центр сфер обертання та переміщення можна розмістити досліджуваний об'єкт – фару із заданою точністю. Але значна складність конструкції та надлишок ступенів вільності ставить під сумнів доцільність використання такого пристрою для юстирування фар. В сучасних гоніометрах, наприклад гоніометр Rigaku Smart.Lab фірми *Rigaku Corporation* в якості конструкційного матеріалу використовують пластик [6]. Інколи елементи конструкції виконують металевими, а захищають від корозії пластиком. Такі конструкції мають привабливий вид. Гоніометр для точної передачі кутів GON 360 та вимірювання їх рефлексії розроблений [7]. Панель управління виконана безпосередньо на платформі гоніометра, що дало можливість розмістити електроніку одним блоком з механічною частиною прилада. Фірма *Instrumentsystem* [7] розробила також гоніометр DTS 500 (positioner systems). Конструкція дозволяє виконувати як переміщення по трьох поступальним осях, так і переміщення на кутові положення. ПП «Суми Електрон Оптикс» пропонує гоніометр жорсткої конструкції з механічним управлінням переміщення за коловими осями [8]. Звертає увагу коловий сектор, що має зубчасту рейку для переміщення оптичної системи. У розглянутих конструкціях гоніометрів забезпечують переміщення напрямні як ковзання, так і кочення. Надсучасним гоніометром для контролювання світлової оптики є роботизований гоніометр (Robo-Goniometer) фірми *Quantumday* [9]. Гоніометр має не менше ніж 6 ступенів вільності, а отже відрізняється значною гнучкістю. Складність конструкції та її вартість обмежують використання такої техніки в умовах малих підприємств, але ідеї таких конструкцій можуть бути використані для розробки та створення подібних гнучких пристроїв. Одна з «металевих» конструкцій гоніометра з електро – або вакуумними (Motorized Goniometer Stages, Vacuum Goniometer) приводами розроблена в [10]. Базова пластина для затискання на ній різних об'єктів обертається навколо трьох осей. Поступові переміщення відсутні, що знижує гнучкість пристрою. Модульна схема конструкції гоніометра запропонована фірмою *Standa* [1]. Сектори забезпечують обертання досліджуваних об'єктів навколо двох осей. Призначені модулі для дослідження об'єктів на центрах обертання 50 та 80 мм, що недостатньо для об'єктів типу фар. Гоніометр для орієнтації невеликих об'єктів (BGS Goniometer Tip/Tilt Assembly) подано [11]. В конструкції також використовується модульна схема створення пристрою, причому на більшому секторі розміщується модуль менших габаритних розмірів. Приводи переміщення від крокових двигунів.

На основі огляду та аналізу конструкцій сучасних гоніометрів нами запропонована їх класифікація (рис. 1) за 5 ознаками. З огляду відомих конструкцій та класифікації гоніометрів, а також методики контролю світлової оптики мінімальну собівартість з нашої точки зору забезпечує конструкція з чотирма координатами, причому дві координати для кутових переміщень відносно горизонтальної та вертикальної осі, а дві координати лінійних переміщень у горизонтальній площині.



Рис. 1. Класифікація конструкцій гоніометрів

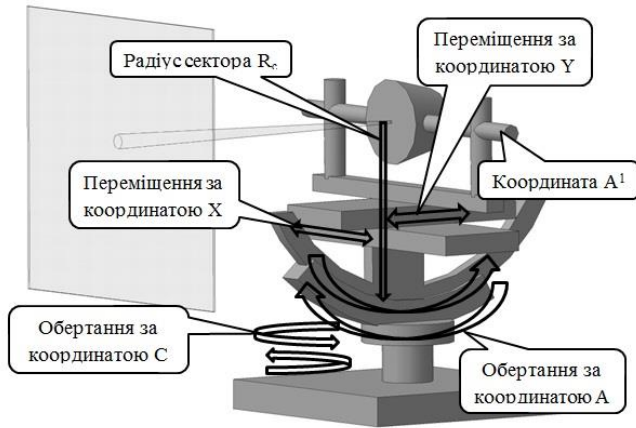


Рисунок 3 – Функціональна схема гоніометра для контролювання світлового потоку фари

зміщується у горизонтальній X та вертикальній Z площинах (рис. 2) так, щоб її оптична вісь перетинала екран у заданих методикою точках. Особливістю цього підходу контролювання фари є те, що при переміщенні оптичної осі фари оптичний центр фари повинен завжди залишатися у визначеному місці простору. Отже фара повинна обертатися навколо осі X та Z .

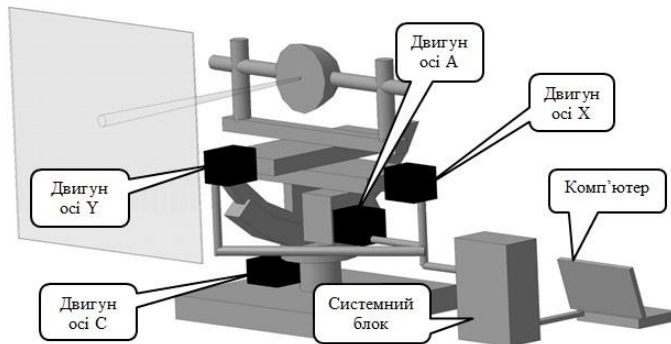


Рисунок 4 – Принципова схема управління гоніометром

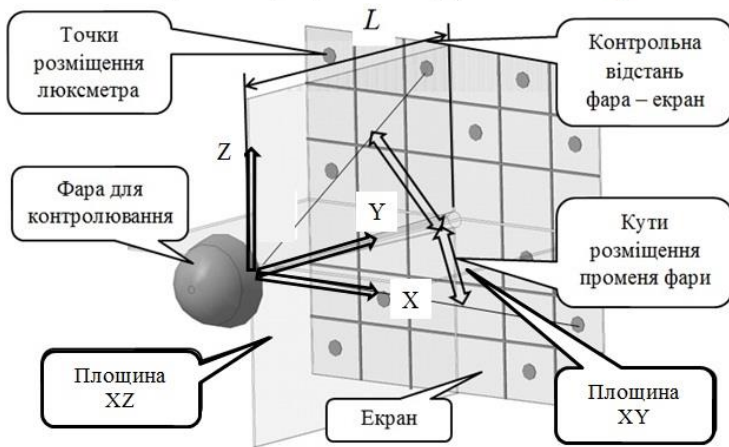


Рисунок 2 – Принципова схема контролювання світлового потоку фари

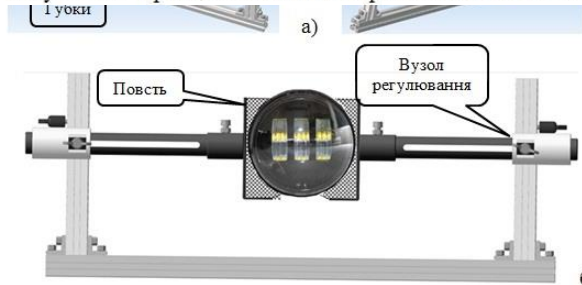


Рисунок 5 – Вузол кріплення фар а) та приклад затискання фари б)

Принципова схема контролювання світлового потоку фари та функціональна схема гоніометра для чотирьох координатних переміщень.

Для контролювання фари необхідно виміряти освітленість в заданих методикою точках екрану, розміщеного на заданій контрольній відстані L від самої фари. Це потребує використання декількох люксметрів або постійно переміщувати один люксметр на значні відстані. Згідно іншого підходу люксметр розміщується в центрі екрану, а фара

Лінійні переміщення за координатою X потрібні у випадку налагодження розміщення оптичного центру фари відносно екрану. Таке переміщення потрібне також для контролю фонарів, що мають конструктивно декілька джерел світлового потоку (фонарі зворотнього руху). Переміщення за координатою Y потрібне для точного розміщення центра фари відносно вертикальної вісі Z .

Функціональна схема гоніометра створена на основі принципової схеми контролювання світлового потоку фари (рис. 3). У функціональній схемі гоніометра передбачено переміщення за координатами X , Y та обертання навколо осей A та C . Принципово обертання фари можна виконувати віссю A^1 , яка проходить через центр фари, при цьому радіус обертання визначається діаметром труби – держака фари. Але у зв'язку з тим, що для контролювання освітленості

потрібне позиціонування фари з точністю декількох кутових хвилин, то забезпечити таку точність з використанням більшого радіуса простіше.

Тому на функціональній схемі гоніометра передбачений сектор радіуса R_c , який і визначає вихідну точність переміщення за віссю A . Переміщення за вказаними координатами можна виконувати вручну.

Такий спосіб не забезпечує ні достатньої точності позиціонування світлового потоку, ані продуктивності контролю. Тому доцільним є оснащення гоніометра сучасною системою управління. До системи управління повинні входити: крокові двигуни для здійснення обертотних переміщень за координатами A та C ,

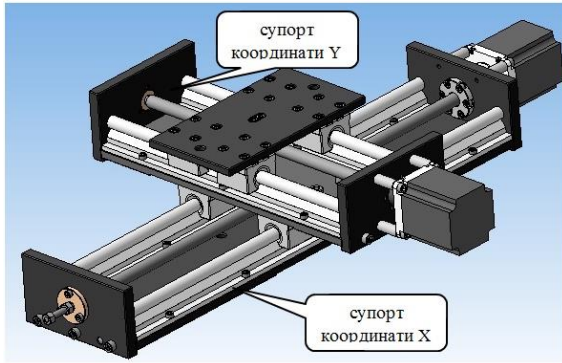


Рисунок 6– Вузол супортів переміщень за координатами X та Y

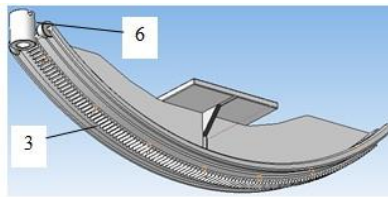
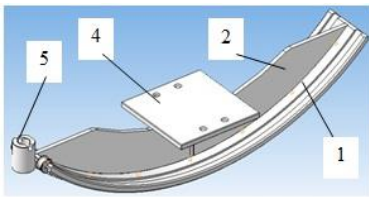


Рисунок 7 – Конструкція зубчастого сектора

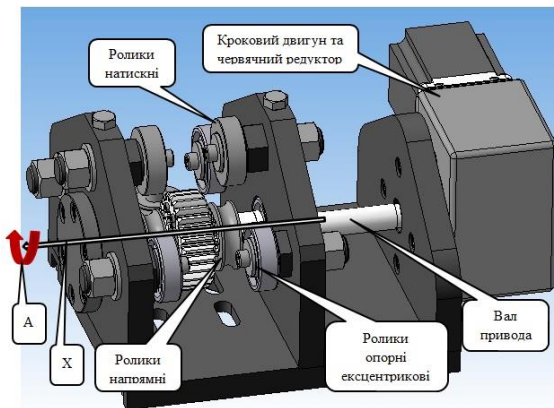


Рисунок 8 – Конструкція вузла приводу зубчастого сектора

інші вузли. На початку був розроблений вузол кріплення фар (рис.5). Вузол передбачає

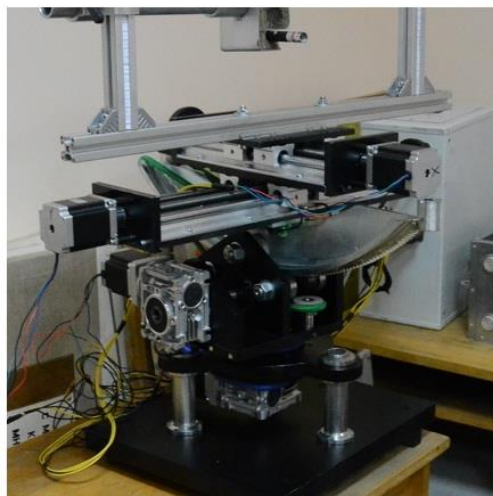


Рисунок 9 – 4-х координатний гоніометр з лазерною указкою для досліджень у вузлі кріплення фари

незначне регулювання у межах 200 мм. Основи супортів та бічні стояки виконані з алюмінію, що значно полегшує верхню частину гоніометра. Механізми ходовий гвинт – гайка ковзання мають номінальний діаметр 12мм та крок 3мм. Опорою гвинта є підшипники ковзання та кочення.

двигуни з перетворювачами обертового руху на поступовий за координатами X та Y, драйвери для управління двигунами, системна плата для зв'язку з пристроєм програмування і пристрій програмування з програмою – комп'ютер. Принципова схема управління гоніометром подана на рис. 4. До принципової схеми управління гоніометром надходять: крокові двигуни, а до системного блоку драйвери, блок живлення та системна плата. Попередні розрахунки та аналіз рухів гоніометра показали, що крутних моментів крокових двигунів недостатньо для здійснення рухів за осями A та C. Тому було прийняте рішення про оснащення осей A та C допоміжними черв'ячними редукторами з передатними відношеннями 1:80. У якості перетворювачів обертового руху двигунів на поступовий за осями X та Y були запропоновані ходові гвинти – гайки ковзання. Таке рішення обумовлене тим, що рухи переміщення за осями X та Y налагоджувальні і особливої точності переміщення не потребують.

Конструювання 4 – х координатного гоніометра. Конструювання гоніометра виконували на основі розроблених принципової та функціональної схеми гоніометра. Методологія конструювання полягала у тому, що функціональна схема гоніометра була представлена окремими вузлами, які послідовно розроблялися з детальною проробкою кожного елемента. До розроблюваних можна віднести такі основні вузли як: 1) вузол кріплення фари, 2) вузол супортів переміщень за координатами X та Y, 3) зубчастий сектор, 4) вузол приводу зубчастого сектора за координатою A, 5) вузол обертання за координатою C, 6) основа гоніометра та деякі

закріплення у ньому фар та фонарів різних типорозмірів шириною від 50 до 350 мм. Вузол рамної конструкції, який має регулювання як за габаритами фар, так і за розміщенням оптичної осі, забезпечуючи його положення в центрі обертання сектора (див. рис. 3 з R_c). В конструкції використали алюмінієвий прокат та сталеві кріплення. Губки, що контактують з фарию, мають покриття із волокнистого матеріалу (повсть). Конструювання вузла супортів переміщень за координатами X та Y (рис.6) виконували з урахуванням необхідності автоматичних переміщень за цими координатами. Так, переміщення за координатою X враховує габаритні розміри фар та фонарів. Максимальне переміщення за координатою X вибране 360 мм.

Переміщення за координатою Y є переміщенням налагодження на певну відстань між гоніометром та екраном, і тому передбачене

Підшипник кочення розміщений у стояку зі сторони крокового двигуна. Він водночас обмежує

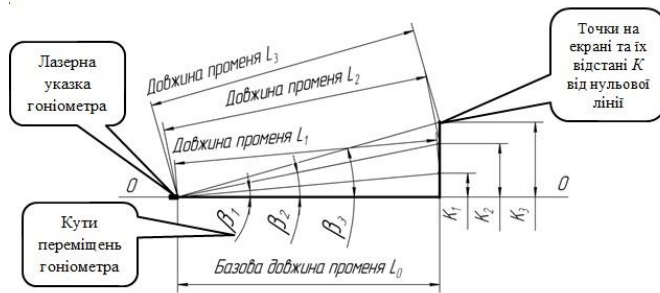


Рисунок 10 – Трикутники розміщення лазерного променя при дослідженнях

вісьові переміщення гвинта. Зв'язок двигуна із ходовим гвинтом здійснюється жорсткою муфтою. Двигуни розміщені на стійках, що забезпечує доступ до з'єднувальних муфт. На протилежних від двигуна кінцях на гвинтах розміщені маховики ручного переміщення. Характерною конструктивністю зубчастого сектора є безпосередньо сам сектор (поз.1, рис. 7). Сектор у поперечному

перетині має дугові напрямні канавки, які призначені для розміщення в них елементів кочення. Таким чином, у проєктованій моделі гоніометра для переміщення зубчастого сектора за координатою А використовуються напрямні кочення, а не ковзання, як на деяких прототипах. Усі складові зубчастого сектора виконані із сталі. Зубчаста рейка модулем 2 мм розміщена у базі сектора. Ролики (поз.6 рис. 8) виконані із фторопласту, який має низький коефіцієнт тертя з матеріалом натяжного пристрою системи зубчастого сектора. Одним із складних є вузол переміщення зубчастого сектора (рис. 8). На середньому стояку та на крайньому ліворуч розміщені ролики, які виконують роль механізму кочення для приводу зубчастого сектора. Ролики виконують різні функції: опорну, натискну, напрямну. Ролики опорні та натискні виконані на підшипниках кочення. Вказані на рисунку напрямні ролики виконані з фторопласту і являють собою підшипники ковзання як на валу привода, так і для контакту з натяжним пристроєм вузла. Осі натискних роликів розміщені в пазах для регулювання натискання та зазору у з'єднанні. До загальної конструкції надходять усі перелічені вище вузли гоніометра. Концептуальне розміщення їх відповідає функціональній схемі (рис. 3) де зазначені усі чотири координати переміщень вузлів гоніометра. При конструюванні гоніометра враховувалось і дизайнерські рішення, які полягали у розробці кольорової гами оздоблення вузлів гоніометра. Кінцевий варіант конструкції розробленого та виготовленого 4-х координатного гоніометра представлено на рис. 9.

Досліджень точнісних параметрів конструкції гоніометра. Методика проведення досліджень ґрунтується на рекомендаціях нормативної документації [12]. У відповідності до [13] світловий промінь фари ближнього/дальнього світла повинен мати на екрані світлову пляму визначеної форми. Тому сконструйований та виготовлений нами гоніометр потрібен пройти перевірку на точність переміщення світлової точки по екрану за різними координатами, що відрізняються від світлової плями фари.

У відповідності до вимог [13] був створений спеціальний екран з точками за визначеними координатами. При дослідженні гоніометра на точність переміщення променя у якості джерела променя використовували лазерну указку (рис.9), яку розмістили та затиснули у пристрої для закріплення фар. Використання такої указки обґрунтовано тим, що промінь лазера дає чітку точку малого діаметра на екрані при розміщенні точки на будь – якій координаті, що дозволяє із достатньою точністю провести дослідження переміщень вузлів гоніометра за координатами сітки – екрана.

Переміщення вузлів гоніометра за координатами виконували програмно, використовуючи для цього управляючу програму Mach 3. Швидкість обертання сектора навколо осі А та обертання навколо вісі С була задана постійною, тобто динаміка обертальних рухів на початку досліджень не впливала на точність переміщень та не вносила випадкових помилок.

Для підвищення точності досліджень гоніометр розмістили на жорсткому столі, що знаходився в аудиторії на першому поверсі з бетонною підлогою.

З метою визначення точності переміщень гоніометр розмістили на базовій відстані 6605 мм від екрану перпендикулярно ньому відповідно до методики контролю [13]. При кутових переміщеннях лазерного променя у відповідності до сітки – екрана довжина лазерного променя змінювалась, що визначалось трикутником розміщення лазерного променя (рис. 10). При проведенні досліджень кути переміщень β визначали програмно, з урахуванням коефіцієнта перетворення, а значення катетів K вимірювали масштабною рулеткою 1 класу точності довжиною 5 м. Пляму – крапку від лазерного променя на екрані теж вимірювали масштабною лінійкою, як і її переміщення у контрольованій точці при повтореннях експерименту. Для кращої обробки результатів переміщень плями фіксували її положення на коло діаметром 50

мм з паперу, а положення плям відмічали маркером. Априорі встановили, що похибки кутових переміщень при похибках вимірювання довжини лазерного променя в межах 3 – 5 мм не перевищує 0,01 градуса, що знаходиться у межах допусків для заданих контрольованих величин та підтверджує можливість використання вказаних інструментів при проведенні досліджень точностних параметрів конструкції гоніометра. Дослідження проводились в умовах постійної температури, що виключало вплив систематичних похибок на результати вимірювання.

Результати дослідження точностних параметрів конструкції гоніометра.

Експериментальне дослідження розподілу плям – точок лазерного променя на екрані у точках, розміщених на екрані при переміщенні променя по горизонталі та по вертикалі, показало, що закони розподілу плям променя ближче відповідають закону рівномірного розподілу (рис.11).

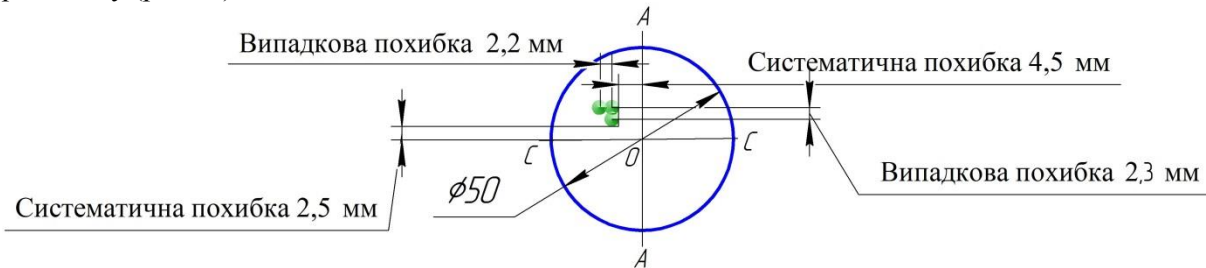


Рис. 11. Розподіл плям – точок лазерного променя на екрані із значеннями систематичних та випадкових похибок

Похибки переміщення плям – точок лазерного променя на екрані при переміщенні по горизонталі (координата Z) та по вертикалі (координата A) визначали для дев'яти точок у мм та градусних мірах (у секундах) на відстані від умовного нуля 1816 мм (ліворуч) та 1816 мм (праворуч), 843 мм (догори) та 555 мм (донизу). Дрейф плям – точок поданий на рис. 12. Похибки дрейфу знаходяться у допустимих межах і не перевищують 2,5 мм, а у градусній мірі 1'.

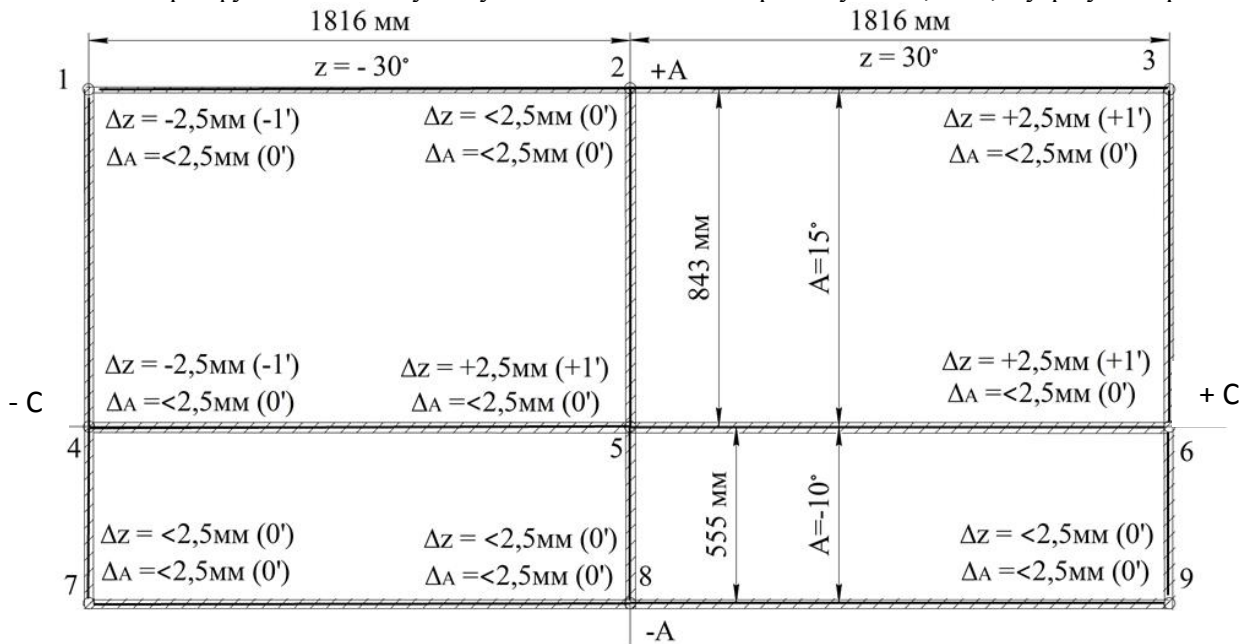


Рис. 12. Дрейф плям – точок лазерного променя на екрані при переміщенні по горизонталі (координата C) та по вертикалі (координата A)

Висновки

- 1 Виконано аналіз сучасних конструкцій гоніометрів як для передачі, так і контролювання кутів, що мають точність відліку та передачі кутів у межах від частки хвилин до секунд.
- 2 Сучасні гідометри мають від 2 до 6 управляючих координат. Управління здійснюється як у ручному режимі, так і за програмою.
- 3 Розроблена класифікація гоніометрів, на базі якої сформульовані задачі для конструювання, виготовлення та дослідження чотирьохкоординатного гоніометра з програмним управлінням.
- 4 Виконано конструювання, виготовлення та дослідження чотирьохкоординатного гоніометра з програмним управлінням.

5 Дослідженням встановлено, що сконструйований та виготовлений гоніометр відповідає вимогам ГОСТ Р 41.112-2005 (Правила ЕЭК ООН №112).

Інформаційні джерела

1. Standa Ltd 2-Axis Goniometer Stage [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=592&prod=2-Axis-Goniometer-Stage.
2. LabSpion goniometer [Електронний ресурс] // LabSpion – Режим доступу до ресурсу: <http://www.visosystems.com/products/labspion/>.
3. Manual Goniometer Stage (Vacuum Compatible) [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=622.
4. SmarAct's New SmarGon: The 6D Goniometer [Електронний ресурс] // SmarAct's – Режим доступу до ресурсу: <http://www.smaract.com/products/6d-smargon-goniometer>.
5. Rigaku SmartLab Goniometer [Електронний ресурс] // SmartLab – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rigaku.com/ru/products/xrd/smartlab>.
6. GON 360 – Goniometer for specular transmission and reflection measurements [Електронний ресурс] // GON 360 – Режим доступу до ресурсу: <http://www.narich.co.za/product/goniometer/>.
7. DTS 500 [Електронний ресурс] // Instrument system – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instrumentsystems.com/products/display-measurement-systems-dts-series/dts-500-positioning-system/>.
8. Гоніометричний пристрій для ультрамікротома [Електронний ресурс] // Sumy Electron Optics – Режим доступу до ресурсу: <http://www.seo.sumy.ua/PreparationDevices/PreparationDevices.html#Goniometer>.
9. Efficient Optical Measurement Through Robotic Technology: Robo-Goniometer [Електронний ресурс] // Quantumday – Режим доступу до ресурсу: <http://www.quantumday.com/2013/02/efficient-optical-measurement-through.html>.
10. Manual Goniometer Stage (Vacuum Compatible) [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=622&prod=manual_goniometer_stage_vacuum_compatible.
11. High Precision Motorized Goniometric Cradles [Електронний ресурс] // BGS G Tip/Tilt – Режим доступу до ресурсу: <https://www.newport.com/f/high-precision-motorized-goniometers>.
12. ГОСТ 41.112 – 2005 (Правила ЕЭК ООН №112) Единообразные предписания, касающиеся автомобильных фар, испускающих асимметричный луч ближнего или дальнего света либо оба луча и оснащенных лампами накаливания
13. МИ 001:2014 Методика проведения фотометрических испытаний передних фар для транспортных средств, дающих луч ближнего и/или дальнего света, согласно ПРАВИЛ ЕЭК ООН №1 и 2-01, 112. Мелитополь, 2015

Д.В. Криворучко, д.т.н., М.М. Коротун к.т.н., М.А. Адамян, інженер Б.С. Басов
Сумской государственный университет

РАЗРАБОТКА 4х – КООРДИНАТНОГО ГОНИОМЕТРА ДЛЯ ЮСТИРОВАНИЯ ОПТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Налаживание и юстирование средств освещения транспортных средств, таких как фары и фонари, повышение надежности и эффективности их эксплуатации выполняется с использованием гониометров. В работе авторами сделан анализ современных конструкций гониометров для юстирования световой оптики транспортных средств. На основе анализа установлено, что разработка таких устройств в разных источниках информации рассмотрена только в общем виде, на уровне технических характеристик, и нуждается в дополнительной разработке и исследованиях. Из обзора конструкций и классификации гониометров установлено, что оптимальной является конструкция с четырьмя координатами, из которых две координаты для угловых перемещений относительно горизонтальной и вертикальной оси, а две координаты линейных перемещений в горизонтальной плоскости. Разработаны принципиальная и функциональная схемы устройства, а также схема управления и представлена методика конструирования устройства на основе разработанных схем. Проведено исследование возможностей устройства и разработаны рекомендации по его внедрению в производство.

Ключевые слова: фара, фонарь, угол, автоматизация, точность, испытания

D. Krivoruchko, M. Korotun, M. Adamyan, B. Basov

Sumy State University

**DEVELOPMENT OF 4 - COORDINATE GONIOMETER FOR ADJUSTMENT OPTICS
VEHICLES**

Setup and adjustment of vehicle lights such as headlights and lanterns, increasing the reliability and efficiency of their operation are performed using a goniometer. In this paper, the authors analyzed goniometer modern designs for alignment of the vehicle lights and lanterns. The analysis found that the development of such devices discussed only in general terms on different information sources, on the level of performance, and requires further development and research. With construction and classification of goniometer the authors found that the four coordinate design of goniometer with two coordinates for angular rotations relative to the horizontal and vertical axis, and two coordinates linear movement in a horizontal plane is the best. The fundamental and functional scheme of the device as well as general control scheme are developed and design technique based on described schemes are represented. The device was tested and recommendation of its application to industry were given.

Keywords: headlight, lantern, angle, automation, precision, testing

ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИЛИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ СВС - СИСТЕМ

В работе рассмотрены методы получения силицированных покрытий и представлена новая технология формирования защитных покрытий на сталях в условиях горения, проходящего при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. С применением методов математического моделирования, при получении коррозионностойких и жаростойких покрытий на деталях машин в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, разработаны оптимальные составы СВС шихт. Исследование коррозионной стойкости и жаростойкости, проводили на сталях 20 и У8А, легированных титаном, хромом, алюминием, бором и вольфрамом. Получено повышение коррозионной и жаростойкости в 2-3 раза.

Ключевые слова: математическое моделирование, коррозионная стойкость, жаростойкость, синтез.

Постановка проблемы. От правильного выбора состава защитного покрытия для деталей машин в большой степени зависит эффективность конечного результата - долговременная их работоспособность при минимальных затратах. Алгоритмы испытаний должна формировать технологию таким образом, чтобы определить, что и как необходимо применять в технологии получения защитных покрытий. Она должна иметь широкий спектр алгоритмов и программ, которые применяются к конкретным деталям, операциям и задачам повышения коррозионной и жаростойкости стальных деталей, работающих в условиях высоких температур и в кислотных средах. Применение новой технологии формирования коррозионностойких покрытий, полученных в условиях горения СВС-шихт требует досконального изучения и исследования.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Эффективным методом повышения долговечности различных деталей, в результате которого изменяются химический состав, структура и свойства поверхностных слоев металла, является диффузионное силицирование.

Анализ литературных источников [1 - 4, 8 - 10] свидетельствует, что в настоящее время существует много методов диффузионного насыщения поверхности стали кремнием. Общим для них является осуществление процесса насыщения при высоких температурах, когда запас свободной энергии системы достаточно велик для протекания диффузии в твердой фазе.

Для получения покрытий на основе кремния применяют следующие способы: в среде расплавленных электролитов, в газовой фазе, при помощи порошкообразных масс в нейтральной или восстановительной атмосфере [5 - 8,10].

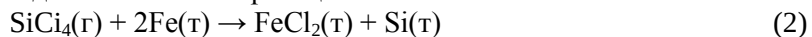
Газовое силицирование осуществляется разными способами [4]: при непрерывном пропускании хлора через реакционное пространство с деталями и ферросилицием; с использованием вместо хлора хлористого водорода; в смеси H_2+SiCl_4 или $N_2+H_2+SiCl_4$; в смеси $Ag+SiCl_4$ или N_2+SiCl_4 ; в смеси H_2+SiH_4 (моносилан), NH_3+SiH_4 . Газовое силицирование сталей проводится в герметически закрытых ретортах, в которые помещают детали, и засыпают их порошком ферросилиция, карборунда, чистого кремния или другими веществами, содержащими кремний. Кремний, содержащий газ $SiCl_4$, образуется в результате взаимодействия этих веществ с хлором, который подается в реторту в чистом виде, в смеси с водородом или вводится другим способом. При соприкосновении газообразного хлористого кремния с железом выделяется свободный кремний, который диффундирует в обрабатываемую деталь [19]. Химизм процесса заключается в том, что при обработке образцов $SiCl_4$ кремний поступает к образцам вследствие реакции обмена, а также восстановления тетрахлорида кремния атомарным водородом, растворенным в железе. Образование силицированных слоев в смеси паров $SiCl_4$ и инертного газа определяется в основном реакцией типа (1,2):



Хлорный метод силицирования имеет следующие недостатки: требуется сварка реторт и проверка их герметичности; после проведения процесса требуется дополнительная подготовка смеси для дальнейшего ее использования. Большим недостатком процессов насыщения, проводимых в атмосфере водорода, а также в смеси водорода с хлористым

водородом, является взрывоопасность, токсичность и агрессивность применяемых газообразных смесей, что ограничивает широкое применение этих методов в промышленности.

Диффузионное силицирование в тлеющем разряде проводится газовым прямоточным методом в среде из паров четыреххлористого кремния и водорода. Четыреххлористый кремний и ректификационный водород применяется без дополнительной очистки [11]. Силицирование стали в тлеющем разряде, происходит по обменной реакции:



После установки образца, из системы откачивают воздух до давления 1-0,1 мм. рт. ст., затем всю систему прокачивают водородом под давлением 20 мм рт. ст. Тлеющий разряд включается после достижения динамического равновесия газов. Образец нагревается за счет бомбардировки его ионами газа. Для этого способа не требуются высокотемпературные печи, скорость силицирования значительно больше, чем при обычном газовом [15].

Недостатками процесса являются то, что он пригоден только для образцов и для его проведения требуются сложные и нетехнологичные установки.

В современных технологиях химико-термической обработки (ХТО) широко используются концентрированные источники энергии, локально воздействующие на обрабатываемый материал. Наряду с лазерной, ионно-лучевой и другими обработками поверхности заслуживает внимания применение тлеющего разряда при атмосферном давлении ($1,01 \cdot 10^{-5}$ Па). Этот метод отличается высокой плотностью мощности ($10^2 - 10^3$ Вт/см²) в катодном пятне, что способствует ускорению процесса обработки [12, 13].

В работе [14] изучены возможности бескамерного ХТО углеродистых и легированных сталей в среде из защитных газов, получаемых разложением карбида (мочевины) в плазме разряда.

Получение диффузионных покрытий в вакууме. Процесс насыщения одного металла другим в вакууме [20, 21] происходит достаточно интенсивно при давлении паров металла около 10^{-2} мм рт. ст. Диффузионные покрытия получают в специальных камерах, а на поверхности небольших деталей можно в обычных электрических печах сопротивления, в реторте из жароупорного материала. Контейнер с деталями и наносимым веществом помещают в вакуумный аппарат, и нагревают до температур, не превышающих 850 - 900⁰С, так как более высокие температуры приводят к быстрому коррозионному разрушению внешней поверхности цилиндра.

К недостаткам процесса можно отнести сложность установки, высокую стоимость и небольшие размеры реакционного пространства.

В настоящее время можно считать наиболее отработанным методом – *жидкостное силицирование*. Процесс проводят в тигельных печах-ваннах. В качестве насыщающей среды используют расплавы на основе силикатов щелочных металлов с добавками кристаллического кремния, ферросилиция, карбида кремния и других восстановителей [11, 22]. Детали загружают в расплав в связках, выдерживают при 900 – 1100⁰С в течение 2 – 10 ч, после чего подвергают закалке и охлаждению на воздухе. Влияние восстановителей и условий насыщения (температуры и времени) на интенсивность роста диффузионных слоев и их оптимальное содержание обеспечивает получение слоя максимальной глубины.

Оптимальным считается состав расплава, содержащего 20-30 вес. % промышленного карборунда, 20-50 вес. % двуокиси кремния и до 50 вес. % фторидной эвтектики системы NaF (60 мол. %) – KF [23].

Недостатками метода являются небольшая производительность, быстрый выход из строя тиглей, а также сравнительно резкая смена нагрева и охлаждения покрываемых деталей, что приводит к возникновению деформаций, особенно в деталях крупных размеров.

Электролизное силицирование проводят в специальных установках, состоящих из печи-ванны, системы питания постоянным и переменным током. В качестве насыщающей смеси служат силикаты щелочных металлов с добавками хлоридов и фторидов щелочных и щелочноземельных металлов, которые повышают жидкотекучесть силикатов [11]. При силицировании этим методом катодом служит силицированная деталь, анодом - графитовый стержень.

При насыщении в расплавах с большим содержанием фтористого натрия на железе и высоколегированных сталях получают диффузионные слои, состоящие из силицидов FeSi₂ и FeSi и α- твердого раствора кремния в железе.

Преимуществами этого метода силицирования являются высокая производительность, простота технологии, равномерность покрытия. Однако из-за невозможности обработки изделий сложной формы, высокой температуры процесса, электролизное силицирование не

находит практического применения.

Силицирование в порошковых смесях. При силицировании деталей этим методом в качестве источника кремния применяют ферросилиций, карбид кремния, силикокальций и др. Для предотвращения спекания чистых металлов или сплавов и их прилипания к поверхности покрываемого металла добавляют инертные добавки - измельченный шамот, окись алюминия, кварцевый песок или пемзу и др. [11].

Процесс диффузионного насыщения осуществляют в заваренных ретортах в металлических ящиках или контейнерах. Реторту с деталями, равномерно засыпанными реакционной смесью, помещают в предварительно нагретую или холодную печь и нагревают. При применении сварной реторты к ее крышке приваривают трубу, конец которой закрывают клапаном, позволяющим регулировать давление газов внутри реторты при ее нагреве. Выделяющиеся при нагреве аммиак и хлористый водород, вытесняют воздух из реторты через клапан, в результате устраняется окисление образцов. После окончания процесса диффузионного насыщения, реторту выгружают из печи, и охлаждают на воздухе.

Большим преимуществом этого способа является простота выполнения процесса, что особенно ценно для внедрения в производство, а также невысокая стоимость оборудования и простота контроля. В отличие от жидкостного метода, силицирование в порошкообразных смесях осуществляется при медленном нагреве и охлаждении, поэтому обрабатываемые детали не подвержены деформации.

Поверхностное насыщение сталей кремнием, титаном, вольфрамом и другими элементами приобретает ценные свойства, к числу которых относятся высокая жаростойкость и коррозионная стойкость. В связи с этим, актуально применение технологий, позволяющих получать покрытия при минимальном времени их формирования. Одной из таких технологий является, получение защитных покрытий в условиях горения при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе [16-18, 24].

Цель работы. *Целью работы является поиск оптимальных порошковых СВС-шихт, позволяющих формировать защитные покрытия на стали 20 и У8А в условиях горения СВС-систем. Провести исследования жаростойкости и коррозионной стойкости, полученных покрытий.*

Материалы исследований. В работе для нанесения покрытий использовали стали 20 и У8А. Химико-термическую обработку осуществляли в реакторе открытого типа в интервале температур 900-1050 °С. В качестве насыщающей среды использовали смесь порошков дисперсностью 100-400 мкм следующих материалов:

1. Cr_2O_3 - оксид хрома (III) (ТУ 6-09-4272-84) - источник хрома в покрытие.
2. Al_2O_3 - оксид алюминия (III) (ТУ 6-09-426-75) - инертная добавка.
3. Al - алюминий марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82) - восстановитель оксидов, источник алюминия в покрытие.
4. В - бор технический (ТУ 6-08-374-77) - источник бора в покрытие.
5. Si - кремний марки Кр1 (ТУ 48-4-174-77) - источник кремния в покрытие.
6. Ti - титан марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83) - источник титана в покрытии;
7. W- порошок вольфрама, источник вольфрама в покрытии;
8. I_2 - йод металлический (ГОСТ 4159-79) - активатор процесса насыщения.
9. NH_4Cl - хлористый аммоний (ТУ 6-09-1147-79) - активатор процесса насыщения.

С целью поиска составов порошковых СВС-шихт, обеспечивающих высокую коррозионную и жаростойкость износостойкость, использовался полный факторный эксперимент.

Выбор оптимального состава порошковой смеси для проведения СВС – процессов в условиях горения проводили на основании исследований физико-механических свойств защитных покрытий, таких как коррозионная стойкость, Δm_1 - 10% H_2SO_4 , $\tau_{\text{исп.}} = 100$ ч.; износостойкость, ΔJ_1 (испытание на машине трения СМТ-1, $\tau_{\text{исп.}} = 5$ ч); коррозионная стойкость, Δm_2 - 30% HCl , $\tau_{\text{исп.}} = 100$ ч. И жаро-стойкость, ΔG_1 - $\tau_{\text{исп.}} = 800^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{исп.}} = 20$ ч. Матрица планирования экспериментов и расчетные уровни интервалов варьирования для получения порошковых СВС - смесей, используемых в режиме горения приведены в табл. 1. Выбор основного уровня и интервалов варьирования проводился исходя из того, что введение ХС меньше 75% мас. приводит к срыву волны горения. Содержание кремния в смеси менее 3% мас. приводит к резкому снижению толщины слоя, при увеличении скорости горения свыше 2-3 мм/мин. покрытия не формируются. Количество бора менее 3% масс., титана и вольфрама менее 2-3% мас. приводит к тому, что легирование силицированных слоев не происходит. Для

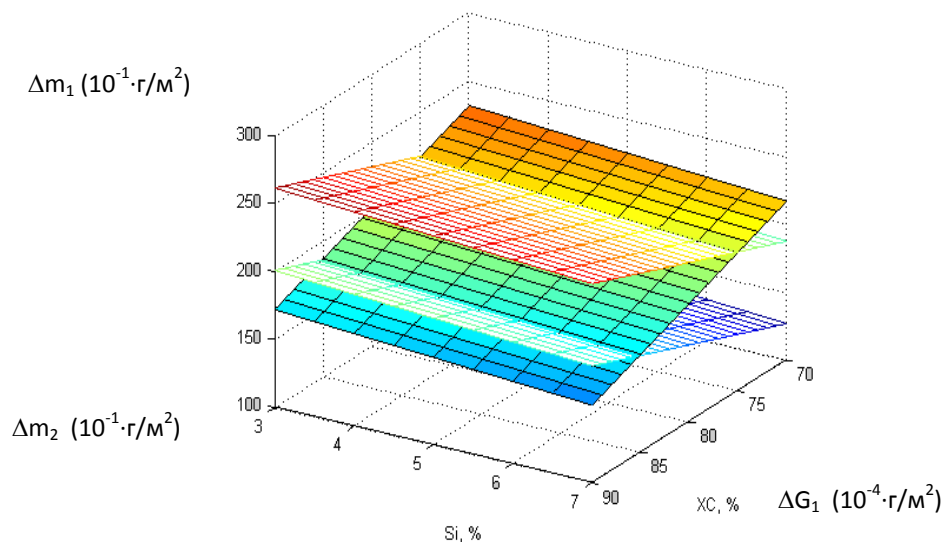
получения стопроцентного состава порошковых СВС - смесей в качестве конечного продукта добавлялся Al_2O_3 .

Таблица 1

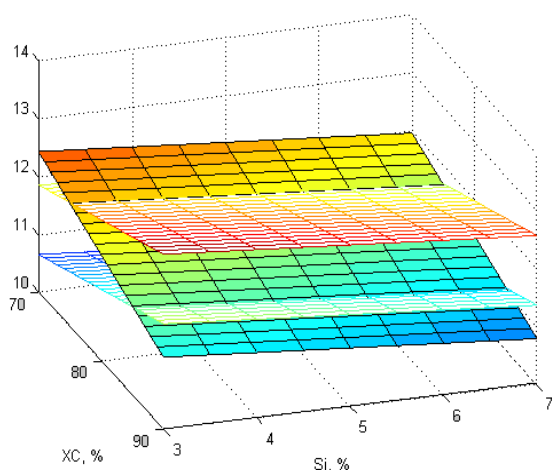
Расчетные уровни, интервалы варьирования факторов матрицы 2^3

Характеристика	Изучаемый фактор (%, мас.)								
	ХС	Si в составах				Al	B	Ti	W
Код	X_1	X_2				X_3			
	1..4	1	2	3	4	1	2	3	4
Основной уровень	80,0	5,0	7,0	5,0	5,0	3,0	2,0	5,0	4,0
Интервал варьирования	5,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
Верхний уровень (+)	85,0	7,0	10,0	7,0	7,0	5,0	3,0	7,0	6,0
Нижний уровень (-)	75,0	3,0	4,0	3,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0

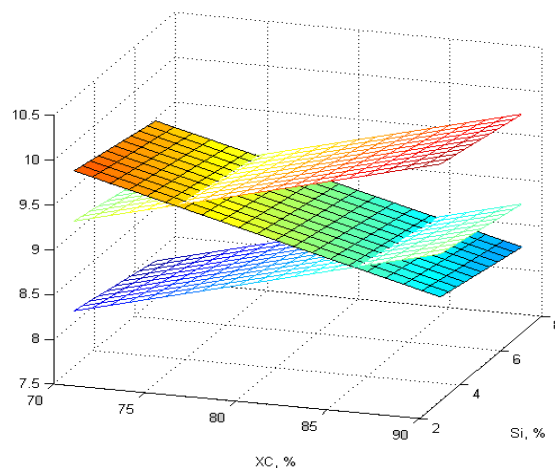
Численные значения коэффициентов регрессии и их значимость, определенные с учетом различия дисперсий для каждой функции отклика, а также проверка значимости по критерию Стьюдента и оценка адекватности модели по критерию Фишера.



а



б



в

Рис. 1. Оптимизация состава многокомпонентных силицированных покрытий для режима горения: а) влияние ХС, Si, Al на коррозионную стойкость Δm_1 ($10^{-1} \cdot \text{г/м}^2$) при испытании в 10% H_2SO_4 ; б) влияние ХС, Al, Ti на коррозионную стойкость Δm_2 ($10^{-1} \cdot \text{г/м}^2$) при испытании в 30% HCl ; в) влияние ХС, W, Al на жаростойкость ΔG_1 ($10^{-4} \cdot \text{г/м}^2$) при $t_{\text{исп}} = 800^\circ\text{C}$,

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

В результате регрессионного анализа, были получены ряд уравнений, показывающие зависимость физико-механических свойств защитных покрытий от содержания кремния, хромистой составляющей, бора, титана, вольфрама. Без учета статически незначимых коэффициентов, были получены следующие уравнения:

$$Y_1 = 9,1350 - 0,255x_1 - 0,105x_2 - 0,0675x_3 \quad (1)$$

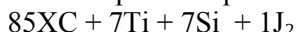
$$Y_3 = 11,786 - 0,2938x_1 - 0,2363x_2 - 0,1987x_3 \quad (2)$$

$$Y_4 = 209,125 - 14,875x_1 - 7,375x_2 - 15,375x_3 \quad (3)$$

Проверка адекватности моделей показывает, что их можно использовать для прогнозирования значений функций отклика при любых значениях факторов, находящихся между верхним и нижним уровнями.

С целью определения составов порошковых СВС-шихт, используемых в режиме горения, обеспечивающих получение оптимальных физико-механических свойств: коррозионная стойкость, жаростойкость, с использованием полученных регрессионных уравнений, строили трехмерные графические зависимости: «содержание элементов – свойства» (рис. 1). Из рисунка следует, что значение коррозионной стойкости и жаростойкости тем выше, чем больше количество хромистой составляющей, вольфрама, титана. Плоскости, отсекающие данные графические представления функций отклика, построены исходя из температурной области формирования защитных покрытий. Нижняя плоскость характерна для температуры 900 °С, а верхняя для 1100 °С. Наилучшее сочетание эксплуатационных характеристик защитных покрытий, получены в смесях, содержащих % мас.: 85,0 XC; 7,0 – 10,0 Si; 3,0 B; 7,0 Ti; 6,0 W; 5,0 Al.

Результаты исследований и их обсуждение. Формирование титанохромоалюмосилицированных покрытий в режиме горения проводилось в смеси следующего состава:



Увеличение темпа охлаждения (рис.2) больше, чем $Vi = 3$ не позволило сформировать защитный слой, что объясняется невысокой диффузионной подвижностью титана, а также малым временем, в течении которого происходит насыщение титаном, кремнием, хромом и алюминием.

Введение в смесь более 2% газотранспортного агента приводит к сильному растравливанию поверхности образца.

Микроструктура титанохромоалюмосилицированного покрытия приведена на рис. 2, а. Титанохромоалюмосилицированный слой состоит из силицида (Ti, Fe₅Si₃) и α- твердого раствора титана, кремния, алюминия и хрома. Содержание титана в поверхности составляет 47,3 - 49,2% и кремния 8,4 - 9,6%.

Борохромоалюмосилицирование в режиме горения проводили в смесях:



Борированный слой имеет характерное игольчатое строение (рис. 2, б) и состоит из легированного хромом борида Fe₂B, равномерно распределенного в слое кремнистого феррита.

Полученные данные рентгеновского микроанализатора позволяют заключить, что кремний в процессе насыщения образует кремнистый феррит, а хром преимущественно располагается в верхней области диффузионного слоя. Содержание хрома в поверхности составляет 1,8-2,2% масс. Увеличение темпа охлаждения приводит к уменьшению толщины слоя.

Хромоалюмосилицирование проводили в СВС – смеси, следующего состава:

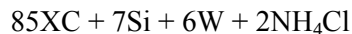


Зависимость толщины h силицированного слоя от температуры детали после стадии прогрева приведена на рис. 4, которая, как видно, подчиняется экспоненциальной зависимости.

С увеличением темпа охлаждения реактора толщина слоя уменьшается. Это объясняется уменьшением времени насыщения.

Микроструктура силицированного покрытия, легированного алюминием и хромом приведены на рис. 2, в. Защитный слой имеет фазы: Fe₃Al и α-фаза (Fe₃Si). С увеличением содержания углерода в подложке толщина слоя уменьшается. Содержание кремния на поверхности составляет 6,2%, содержание алюминия 12,7 – 13,4%.

Формирование вольфрамохромоалюмосилицированных покрытий в режиме горения проводилось в смеси следующего состава:



Влияние содержания кремния, вольфрама и температуры детали после стадии прогрева на толщину защитного слоя приведено на рис. 5.

Микроструктура вольфрамхромоалюмосилицированного слоя приведена на рис. 2, г. Защитный слой представляет собой фазу W_2C , под которой находится зона твердого раствора вольфрама, кремния, алюминия и хрома в железе (α -фаза). Содержание вольфрама на поверхности 5,2 – 6,4%, а кремния 0,6 – 0,8%.

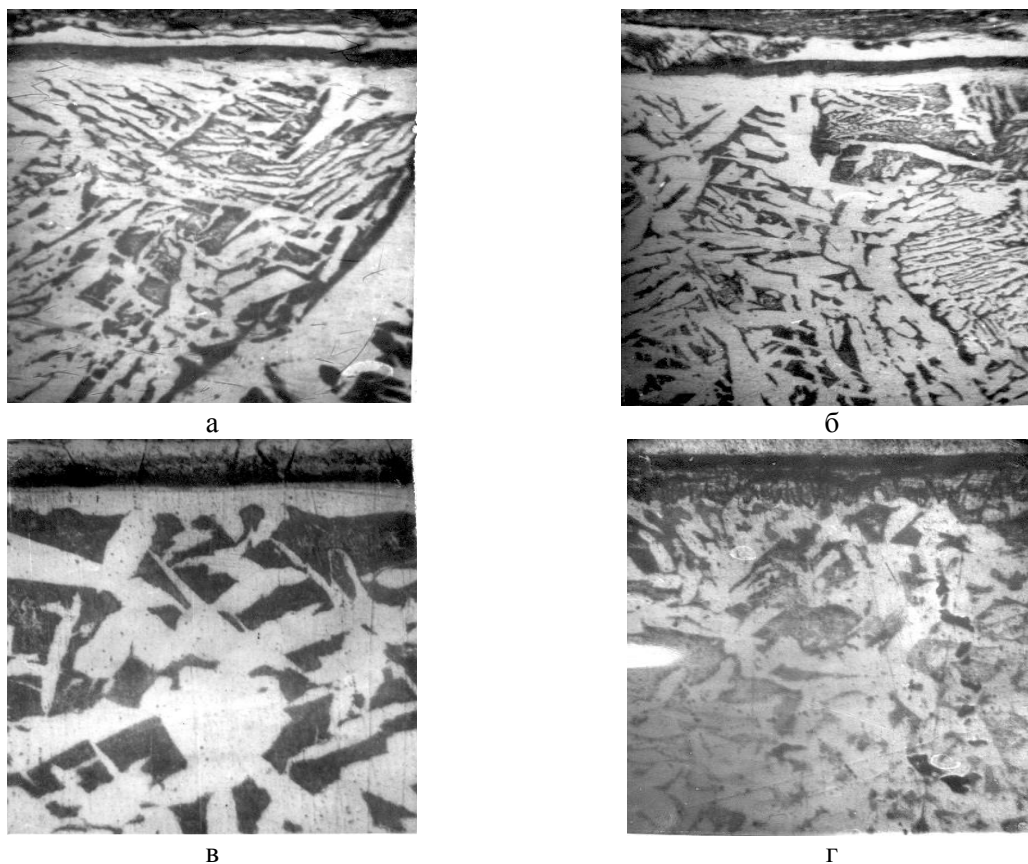


Рис. 2. Микроструктуры многокомпонентных силицированных покрытий, полученных в режиме горения: а) титанохромоалюмо-силицирование $\times 250$; б) борохромоалюмосилицирование. $\times 250$; в) алюмохромо-силицирование. $\times 340$; г) вольфрамхромоалюмосилицирование. $\times 250$

Микротвердость титанохромоалюмосилицированных покрытий на поверхности образцов составляет $H_{50} = 9500 - 9800$ МПа; борохромоалюмо-силицированных $H_{50} = 13200 - 15400$ МПа; хромоалюмосилицированных покрытий $H_{50} = 7100 - 6400$ МПа и вольфрамхромоалюмосилицированных покрытий $H_{50} = 11600 - 12800$ МПа.

После проведения процесса горения по получению защитных покрытий проводили термическую обработку, заключающуюся в закалке и низком отпуске, для предотвращения «продавливания» слоев. С увеличением содержания углерода в подслое микротвердость увеличивается. Значение максимальных остаточных напряжений слоев, полученных на образцах с различным содержанием углерода приведено в табл. 1.

Таблица 1

Материал подложки				
	CrAlSi	BCrAlSi	TiCrAlSi	WCrAlSi
Температура процесса, °C	1000	1000	1100	1100
Сталь 20	1,6	2,2	1,8	1,9
Сталь У8А	2,3	6,8	2,7	3,1

Коррозионная стойкость защитных покрытий определялась испытанием 4-5 образцов в течение 10 суток. Результаты коррозионных испытаний (гравиметрический метод) в 3% NaCl, 10% водном растворе H_2SO_4 , HNO_3 и 30% HCl приведены в табл. 1.

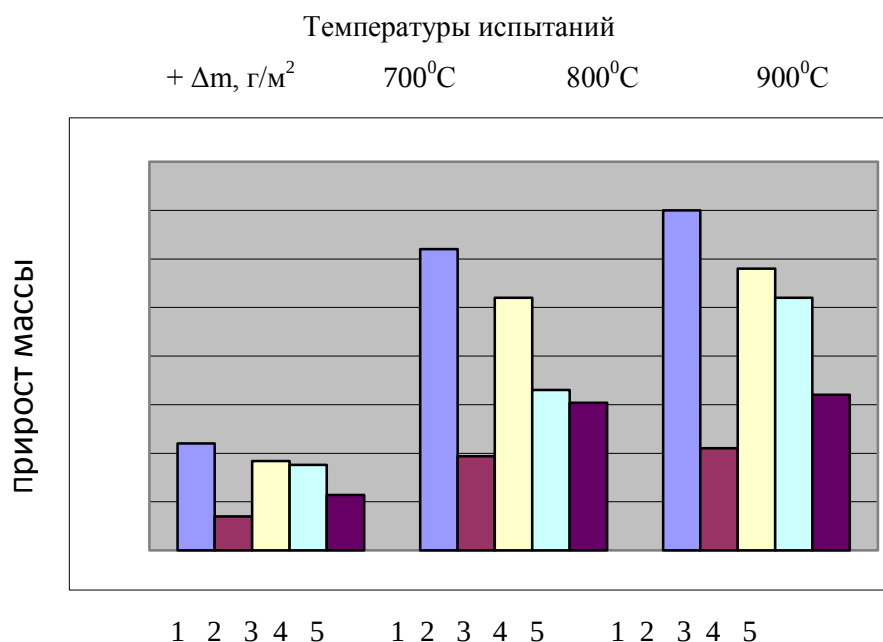


Рис. 3. Сравнительные данные жаростойкости защитных покрытий ($t_n = 1000^0\text{C}$; $\tau_{исп} = 20\text{ч}$): 1 - БП; 2 – CrAlTi; 3 – CrAlB; 4 – CrAl; 5 – CrAlW.

Наиболее эффективной защитой при испытаниях в рассматриваемых средах являются силицированные покрытия, легированные титаном, хромом и алюминием. Так по сравнению с материалом, не подвергнутому ХТО коррозионная стойкость увеличивается в 3 - 7 раз.

Как видно из результатов эффективную защиту показали силицированные слои, легированные титаном, хромом, алюминием и вольфрамом.

Сравнительная жаростойкость покрытий при испытании в течение 20 часов, при температуре 700, 800 и 900⁰С приведена на рис. 3. Жаростойкость повысилась в 1,2 - 3,5 раза. Наилучшая жаростойкость наблюдается для многокомпонентных силицированных слоев, легированных

Cr-Al-W и Cr-Al-Ti, что можно объяснить малой пористостью покрытий и образованием защитных окисных пленок: SiO₂, Cr₂O₃, Al₂O₃, WO₃ TiO₂.

Выводы. Проведено моделирование по поиску оптимальных порошковых СВС-шихт, для получения защитных коррозионностойких и жаростойких защитных покрытий на стали 20 и У8А с использованием технологии горения в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Исследованы структуры защитных покрытий, их коррозионная при испытании в 3% водном растворе NaCl и 10% водном растворе H₂SO₄, HNO₃, 30% водном растворе HCl и жаростойкость при температурах 700, 800 и 900⁰С. Наиболее эффективную защиту, при испытаниях в рассматриваемых средах, показали силицированные покрытия, легированные Cr-Al -Ti, Cr-Al -W. Так по сравнению с базовым покрытием, полученным при ХТО в изотермических условиях, коррозионная стойкость увеличивается в 2,1 - 3 раза. Жаростойкость повысилась в 2-3 раза.

Информационные источники

1. Химико-термическая обработка металлов. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. //М.: Металлургия, 1985. – С. 256.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. //М.: Металлургия, 1994. – С. 494.
3. Сыркин В.Г. CVD - метод. Химическое парофазное осаждение. //М.: Наука, 2000. – С. 496.
4. Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. //Справочник. М.: Металлургия, 1981. – С. 424.
5. Sereda B. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts / Sereda D., Sereda B. //Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016-1339p.-P.945-948
6. 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 2016-1339p.-P.931-934
7. 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 2016-1339p.-P.825-829
 8. Лахтин Ю.М. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов //Металловедение и термическая обработка металлов, 1988. -№11. - С. 14 - 25.
 9. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента. //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1993.- № 8. - С. 5 - 9.
 10. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов //Справочное пособие/ - Мн.: Беларусь, 1981. – 205с.
 11. Ляхович Л.С. и др. Силицирование металлов и сплавов. //Минск: «Наука и техника», 1972. – С. 280.
 12. Пат. РБ №3952. Устройство для локализованной химико-термической обработки металлических изделий в тлеющем разряде при атмосферном давлении. Заявл. 11.01.01.
 13. Zhdanok S.A., Silenkov M.A., Shushkov S.V. Effect of Glow Discharge at Atmospheric Pressure on the Metal Surface //4th Intern. Semin 'Nonequilibrium Processes and their Applications' Minsk. - 1998.- P. 101-104.
 14. Кухарева Н.Г., Силенков М.А., Шушков С.В. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде атмосферного давления. //Металловедение и термическая обработка металлов. - 2003. - № 1.- С. 36 - 41.
 15. Босяков М.Н., Величко О.И., Витенчик С.Н. и др. Моделирование процесса ионно - плазменного азотирования // Физика плазмы и плазменные технологии. Материалы конференции. Минск, 1997. - Т. 3. - С. 499 - 500.
 16. Sereda D.Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. / Sereda D., Sereda B. //Material science and technology- 2015.. Columbus, OH,USA.- 1821p., P.229-232.
 17. Sereda D. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition./ Sereda D., Sereda B. //Material science and technology -2014. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2224p. P.482-486.
 18. Sereda D. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts./ Sereda D., Sereda B. //Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016-1339p.-P.945-948.
 19. Удовичкий В.И. Антифрикционное пористое силицирование углеродистых сталей. М.: Машиностроение, 1977. – С. 192.
 20. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М.: Мир, 1964. – С. 673.
 21. Смирнов А.В., Переверзев В.И. Вакуумное силицирование электро-технической стали. //Защитные покрытия на металлах. Киев. «Наукова думка». - 1968. – Вып.2.- С. 202 - 203.
 22. Ляхович Л.С. и др. Силицирование железной металлокерамики. //Известия АН СССР, 1971. - № 2. - С. 66 - 72.
 23. Вегер Р.А., Гейдерих В.А., Герасимов Я.И. «Изв. СССР - Неорганические материалы, 1965. - Т.1.- № 10.
 24. Удовичкий В.И. Долговечность диффузионного насыщения кремнием деталей машин. М.: Машиностроение, 1983. – С. 240.

УДК 669.136.9

Кругляк І.В., к.т.н., Кругляк Д.О., к.т.н., Середя Д.Б., аспірант

Запорізька державна інженерна академія

ОТРИМАННЯ БАГОТОКОМПОНЕНТНИХ СИЛІЦІЙОВАНИХ ПОКРИТІВ В РЕЖИМІ ГОРІННЯ СВС - СИСТЕМ

У роботі розглянуто методи отримання силіційованих покриттів та представлена нова технологія формування захисних покриттів на сталях в умовах горіння, що відбувається при саморозповсюджувальному високотемпературному синтезі. Із застосуванням методів математичного моделювання, при отриманні корозійностійких та жаростійких покриттів на деталях машин в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу, розроблені оптимальні склади СВС- шихт. Дослідження корозійної стійкості та жаростійкості, проводили на сталях 20, 45 і У8А, легованих титаном, хромом, алюмінієм, бором та вольфрамом. Отримано підвищення корозійної стійкості та жаростійкості в 2-3 рази.

Ключові слова: математичне моделювання, корозійна стійкість, жаростійкість, синтез.

I. Krygljak, D. Krygljak, D. Sereda

Zaporizhska State Engineering Academy

MATHEMATICAL MODELING FOR DAMAGES COATINGS RESISTANT TO USING TECHNOLOGY

The paper discusses methods for chromoaluminizing coatings and introduced a new technology of forming protective layers on steels in a self-propagating high-temperature synthesis. Using mathematical modeling methods in the preparation of wear-resistant coatings to parts of machines under SHS designed by optimal compositions SHS mixtures. Study of wear resistance of intermetallic layers on steels 50 and U8A doped with boron and silicon suggests an increase in the wear resistance of machine parts and mechanisms by 2-3 times.

Key words: mathematical modeling, wear resistance, synthesis.

PHYSICAL GROUNDS AND METHODS OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS

The article deals with the physical characteristics and method of ultrasound diagnostics. Described features and examples of the main methods of ultrasound diagnostics, such as echographics, transmission and Doppler (based on the doppler effect). Introduced historical information about the development of ultrasound diagnostic techniques. Described and grounded stable and labile methods of ultrasound diagnostics procedures. Introduced behaviors ultrasonic waves reflected from the biological object.

Keywords: ultrasound, transmission method, transmission method, Doppler method, labile technique, stable technique, impulse, signal, piezoelectric transducer.

Entry. Use of ultrasonic vibrations for research of underlying structure of matter, conducts beginning from works of soviet physicist of S. Sokolov, which in 1928 created the method of ultrasonic fault detection, that is a method of exposure of shells, pores, cracks in the metallic founding. Physical basis of this method is a difference in the key-in of ultrasound by a continuous metal and at presence of in him heterogeneities. Measuring intensity of passing through cast of ultrasonic wave it is possible to reduce the presence of the defects indicated higher. In 1935 S. Sokolov was the worked out method of exposure of ultrasonic echo that is reflection from meeting on the way of distribution of ultrasonic wave of different defects and foreign particulates. Both methods created by Falcon methods found the use in medicine. In the forties for research of intracranial damages intensity was measured to the ultrasound, yaks got through a skull and brain of patient, and medical vehicles that work on principle of echo appeared in fiftieth years.

Statement of the problem. Presently ultrasonic diagnostics became the generally accepted diagnostic method, substantially complementing the basic method of visualization of internals - radiograph. In many respects an ultrasonic method has substantial advantages as compared to x-ray photography. Practically complete absence of some side effects allows to conduct the protracted frequent ultrasonic researches of any parts of body, plugging research of fruit in all periods of pregnancy. A high sensitiveness to acoustic heterogeneities enables to get the echograms of soft fabrics, for example, of mastocuss, violations in an eyeball et cetera the Rapid scan-out allows to look after the dynamics of internals - reduction of heart, aorta and other. Finally, for help to the ultrasound exact enough determination of sizes of internals and their parts is possible, that in many cases has an important diagnostic value. These and other features and advantages of ultrasonic diagnostics stipulated her wide confession and introduction in many areas of medicine: general surgery, ophthalmology, obstetrics and gynecology, oncology and other.

Staging tasks. In ultrasonic diagnostics apply three basic methods: echographics, transmission and Doppler (Doppler based on an effect). Will consider basic physical grounds and technical features of the indicated methods.

Explanation of the basic material. Echographic method is based on the supervision of the removed ultrasonic waves, which arise up on the borders of environments which differ in the acoustic resistance.

Acoustic resistance of environment Z is determined as work of closeness of environment ρ on speed of distribution in her of ultrasonic wave c ; $Z = \rho \cdot c$ (g/cm²·s).

The relation R of amplitude of vibrations of the removed and falling ultrasonic wave is named a reflectivity:

$$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2},$$

where Z_1 and Z_2 are acoustic supports of the first and second environments.

Acoustic supports for water and different soft fabrics differ insignificantly: water is $1,49 \times 10^5$ g/cm²·s; muscular fabrics are $1,66 \times 10^5$ g/cm²·s; fat is $1,32 \times 10^5$ g/cm²·s. Accordingly the coefficients of reflections on the borders of division of these environments do not exceed 0,05-0,08. For solids acoustic resistance in several times anymore, so for the bones of skull it folds $6,22 \times 10^5$ g/cm²·s. Air has a considerably less closeness, and speed of distribution in him to the ultrasound also less. Acoustic windage is $42,6 \times 10^5$ g/cm²·s. From the brought data over it goes out that on a border between soft fabrics and bones a reflectivity arrives at 0,6. In case if there is an air layer on the way of ultrasonic

wave, there is practically a complete reflection of wave.

Emitter to the ultrasound - a piezoelectric plate which becomes excited by an electric impulse creates the brief impulses of ultrasonic vibrations, which recur periodically. At presence of acoustic contact between an emitter and body of man an ultrasonic wave spreads in fabrics of body. Passing a fat-muscle through the borders of division of environments, muscle-bone and other, an ultrasonic wave loses part of the energy, which is reflected towards a source. Getting through a border wave, meets the new border of environments, in turn yields to the partial reflection. This process lasts to the complete fading of ultrasonic vibrations, which is related to the losses of energy due to the friction of particles of environment, which hesitate, and also with losses on a reflection.

As an ultrasonic wave is a short impulse (4-5 periods of attenuation eigen-tones of piezoelectric plate), then an emitter in the interval of time between impulses is used as a transceiver to the ultrasound. Due to direct piezo-effect piezoelectric plate of transformation ultrasonic vibrations in electric signals. The described process is schematically shown on fig. 1.

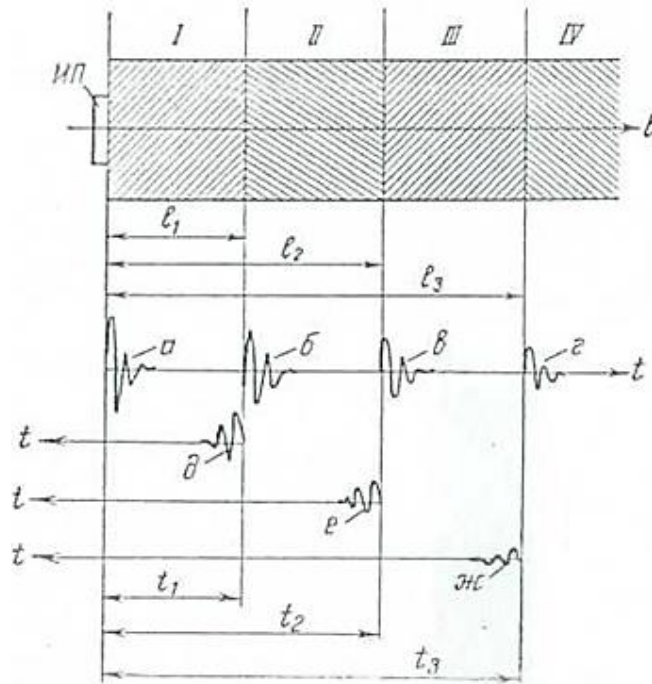


Fig. 1. Scheme of formation of the reflected ultrasound pulses:

ПП - piezoelectric plate; I - IV - tissues with different acoustic resistance; impulses distributed in the forward direction: а - medium I, б - medium II, в - medium III, г - medium IV; reflected impulses distributed in the opposite direction as a result of reflection from the boundary environments: д - from the border between environments I-II; е - from the border between environments II-III; ж - from the border between environments III-IV. For convenience, the reflected pulse temporal axis facing in the opposite direction

Time t_1 , t_2 etc., during which an ultrasonic impulse passes distance from a transformer to the beating back surface (fig. 1), it is determined after formulas:

$$t_1 = \frac{l_1}{c}; t_2 = \frac{l_2}{c} \text{ etc.,}$$

where l_1 , l_2 is distance to the surface; c it is speed of distribution to the ultrasound in fabrics (as speeds of distribution to the ultrasound in soft fabrics differ insignificantly, it is accepted in formulas, that these speeds in the layers of fabrics levels).

Through the interval of time $2t_1$, $2t_2$ after a radiation an impulse, removed by a corresponding surface, will go back to a piezoelectric transformer. Electric signals which arise up on the butt ends of transformer as a result of operating on him of the removed impulses increase, transform and observed on the screen of cathode-ray tube. In order that the removed impulses could be perceived, a period of observance of excitant impulses must be large enough. In this case an impulse, removed from the most far located border of environments, will have time to come back to piezo-transformator to the receipt on him of next excitant impulse. Middle speed of distribution of ultrasonic waves in fabrics folds a 1500 m/s. At the period of reiteration of excitant impulses of 1 ms, a most value $t_{\max}$ folds 0,5 ms, that answers the value $l_{\max} = 75$ of cm. Practically there is not a necessity of research of structures,

30-40 cm located farther from the surface of body. The supervision of the removed signals can be conducted at the immobile location of piezoelectric transformer or at his moving on a certain law. Accordingly distinguish one-dimensional and two-dimensional echo-graphic methods.

One-dimensional method. At an immobile piezoelectric transformer an ultrasonic wave spreads along one axis. Got at the supervision of the removed impulses information gives the picture of on a way head-seas of heterogeneity, borders of different layers of fabrics, about distances between these structures. On the screen of cathode-ray tube an unidimensional echogram (conditionally adopted by a type A) is a horizontal baseline, which is a timebase on which the vertical impulses of perceived are located by a plate and the increased removed signals (fig. 2). The first on the left signal is on fig. 2 is an excitant impulse, consilient with the reflection of ultrasonic vibrations from the external surface of cornea. The second and third signals are caused by the reflection of ultrasonic wave accordingly from the front and back surfaces of lens of the eye. A fourth signal is conditioned by a reflection from an eyeground and further handings down on amplitude of reflection from the layers of retrobulbar fabric. As follows from figure, chamber moisture, lens of the eye and vitreous body, are acoustic homogeneous fabrics and does not give reflection.

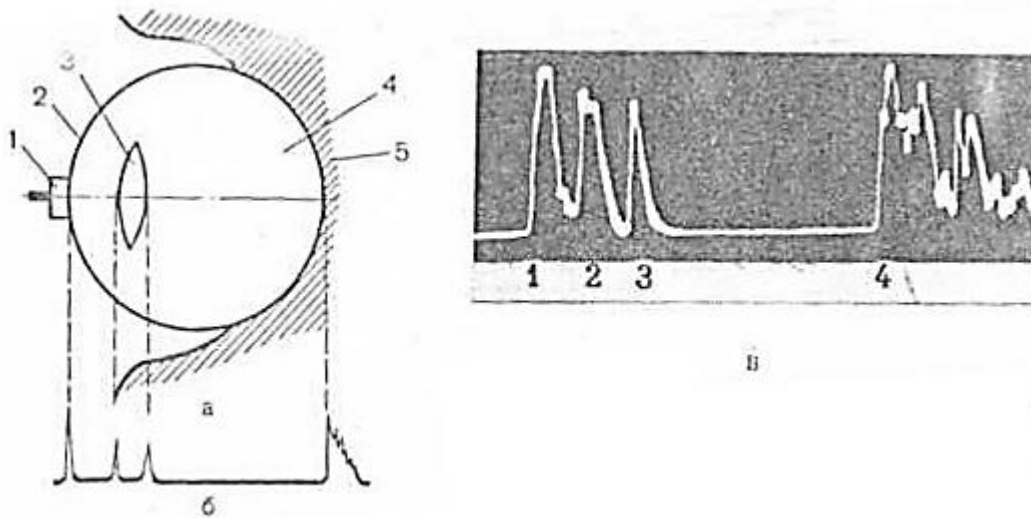


Fig. 2. Scheme one-dimensional ultrasound eye:

a - scanning scheme; 1 - radiating plate; 2 - eyeball; 3 - the lens; 4 - vitreous body; 5 - retrobulbar tissue; b - schematic sonogram; in - real sonogram

In connection with direct dependence between time and corresponding distance which is passed by an ultrasonic impulse, a baseline is simultaneously and by the axis of distances and can be calibration in units of length. Will mark that measuring of distances within the limits of the investigated structure simpler all to execute on a millimetric scale on the screen of cathode-ray tube. However such system owns the row of inconveniences. At the change of duration of involute, that allows to change the scale of echogram for consideration of her separate details, the cost of point of scale changes on the screen. In addition, a parallax due to the thickness of glass of tube reduces measuring exactness. After these reasons in the cases when high exactness of measuring of distances is needed, a mobile mark - negative impulse position of which on wasp of time can be set by an operator is used. Displacement of mark is carried out by means of precision potentiometer, the axis of which is shown out on a control panel and provided with a scale, graduated in millimeters. Combining a mark with the removed impulse, after a scale a potentiometer it is possible with an error which does not exceed 3%, to define distance from a radiative transformer to the corresponding structure.

An one-dimensional echo-graphic method does not give the usual on radiographs picture of internal fabrics and organs, however in many cases provides the receipt of necessary information. So, for example, in ophthalmology an one-dimensional echo-graphic method is used for measuring of anatomy-optics structures of eye, determining size and form of eyeball, diagnostics of tumors, removing layer by layer of retina and vascular shell, exposure and localization of foreign bodies and other. In neurology an one-dimensional method provides high exactness of determination of middle structures of brain (so-called M-echo), that allows to diagnose different sort of tumor and hemorrhage in a brain.

In obstetric practice an one-dimensional method is successfully used for determination of decubital, position and type of fruit, for measuring of intraparietal diameter of head of fruit, that allows to watch after a fetation and set his mass (beginning from 28-30 week of pregnancy), for measuring of sizes of pelvis and other.

Two-dimensional method. Echogram which turns out on the screen of oscillographic tube, at a two-dimensional method in a far greater measure, what at one-dimensional, answers a task to visualization of underlying structures of organism, approached after a kind to x-ray photography to the picture.

For the receipt of image of certain plane radiative ultrasound a piezoelectric transformer must move for the surfaces of body. Line which an ultrasonic wave spreads on, here also moves in space, forming the wired for sound plane at the motion. Thus, at two-dimensional echo-graphic research the image of crossing of the investigated object goes out inplane, to the parallel not surface of body as on a radiograph, but in a perpendicular plane.

The removed ultrasonic impulses are accepted by a piezoelectric transformer and increase the same as at an one-dimensional method. However the method of presentation of the removed signals on an oscillographic tube differs substantially. Baseline not immobile as at an one-dimensional method, but moves on the screen of tube according to moving of piezo-converter for the surfaces of body. Thus signals are given not on the peak baffle plates of tube, but on her electrode which manages the brightness of ray, and the removed impulses are observed as light patches on the line of sentinel involute. As speed of moving of involute is proportional to the rate of movement of transformer, then an echogram on the screen from after-lightening in scaled is the brightness-modulated image of structures, located in the wired for sound plane (echogram of type B, fig. 3).

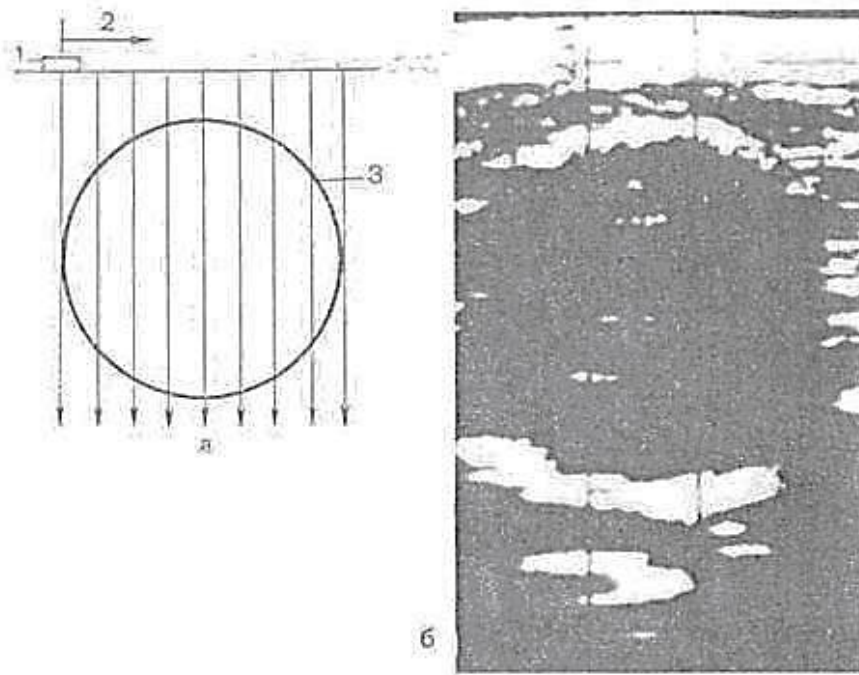


Fig. 3. Scheme of two-dimensional ultrasound fetal head:
a - scanning scheme; b - real sonogram; 1 - radiating plate; 2 - the direction of movement of the radiator; 3- fetal head

Moving of piezo-converter, and thus, and ultrasonic ray - a scan-out can be executed by different character. Distinguish a simple and difficult scan-out. At the simple scan-out of piezo-converter carries out simple motion, so that on every point of the wired for sound plane an ultrasonic wave falls only one time under a certain corner. Mostly used moving of piezo-converter and ray on a linear law (a linear scan-out is fig. 4, a), and also rotatory motion of piezo-converter, that results in the angular moving of ray (a sectoral scan-out is fig. 4, b).

At a simple scan-out part of necessary information can be forgotten. It is explained by that the reflection of ultrasonic wave takes place after the laws of optics, in particular at a flippy the corner of reflection of ray is evened him to the angle of incidence. As a result, back in piezo-converter a ray, falling on a perpendicular to him surface, can get only. However, as a rule, a not only mirror but also diffuse reflection takes place at the reflection of ultrasonic wave, as inequalities on the investigated surfaces after the sizes are considerably exceeded by lengths of ultrasonic wave (at frequency of 880 kHz, wave-length in muscular fabric a 1,8 mm). A diffuse reflection provides a hit in piezo-converter parts of the removed energy, even if a ray falls under a corner on the investigated surface. But for a clear recreation on the echogram of energy of the diffusely removed wave it can appear not enough and, as specified already, part of information can be lost.

A difficult scan-out allows to promote got information content, additionally to recreate the

separate details of the investigated structures on an echogram. It is provided that at the difficult scan-out of piezo-converter carries out not only basic, but yet and additional motion. For example, the linear moving of piezo-converter can be accompanied by the waggle of him on a certain corner. Thus on the same point ultrasonic waves fall under different corners, that provides returning in piezo-converter of the mirror removed wave. The amount of the perceived piezo-converter energy of waves, diffusely removed from this point increases in addition,.

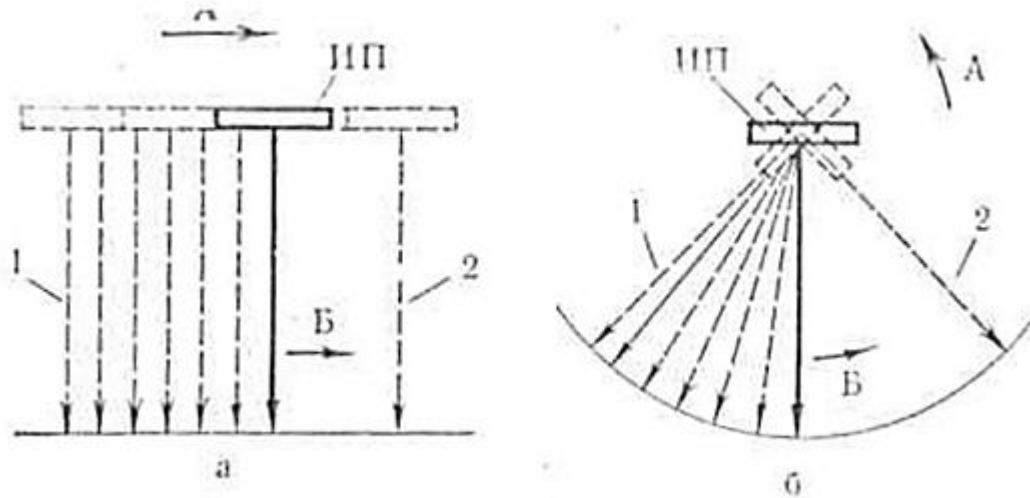


Fig 8. Schematic representation of simple scanning:

a - linear; b - sectoral. ПП - emitting piezoelectric transducer; A - direction of movement Piezoelectric transducer; Б - direction of movement of the ultrasound beam; 1, 2 - extreme directions of the ultrasound beam

The construction of radiative devices of two-dimensional ultrasonic diagnostic devices is considerably more difficult one-dimensional. For the automatic moving of piezo-converter an electro-occasion is used. Additional motion at a difficult scan-out can be carried out both automatically, and by hand.

At a simple scan-out the possible increase of speed of moving of transformer and frequency of change of shots, that is frequency of the repeated wiring for sound of the investigated plane, can be well proven to 10-15 Hz (rapid scan-out). At a rapid scan-out on an echogram possible supervision of reductions of heart, moving of extremities of fruit and some other in relation to rapid motions of internals.

Transmission method. For the aims of metrology - measuring of sizes of separate parts of body - certain advantages are presented by a transmission method. Two piezoelectric transformers are set from two parties of measureable object, for example, of skull. One of transformers radiates the impulses of ultrasonic vibrations, other is their transceiver. The method of presentation of signals on the screen of oscillographic tube does not differ from the method of presentation in an one-dimensional echography. After known time-of-flight by the ultrasonic wave of distance from a radiative transformer to receiving and speeds of distribution of wave can be defined distance between transformers, that is size of object. Devices, which work only after a transmission method, are not made. In many one-dimensional echo-graphic devices as additional possibility, the transmission mode is foreseen.

Doppler method. The effect of Doppler consists in the change of frequency of the removed wave at motion of beating back object. If the rate of movement of object has a constituent in the direction of distribution of radiative wave, then frequency of the removed wave diminishes and vice versa. On the use of this effect the Doppler method of watching is based mobile objects. Mainly, this method is used for control of frequency of heart-throbs and hemadromometry in large vessels. Fundamental difference Doppler to the method from echo-graphic is CW of ultrasonic radiation. In this connection, except for radiative, a separate receiving piezoelectric transformer, which becomes excited removed from a mobile structure, is needed, by an ultrasonic wave. For comfort of exploitation both the transformers take place in one added to the surface of body to the ultrasonic head (probe). As a result of comparison of frequencies of radiative and removed ultrasonic waves frequency of difference, proportional to speed of motions of object, is distinguished. The signal of frequency of difference can be regenerate in acoustic (in the case of control of frequency of palpitation), or registered on plotter. In conclusion will consider the basic requirements, which are produced to the

echo-graphic devices which fold swinging majority of ultrasonic diagnostic apparatus.

Conclusion. Most essential, such, which determine functional possibilities of device, followings him acoustic parameters are most depth of sounding, deadband, discriminability.

A most depth of sounding is maximal distance from a probe on which it is possible to look after a reflection from the borders of division of environments. At measuring of this parameter as an equivalent of environment can be used organic glass, but as border of environments, fully beating back border, organic glass is air. A research object determines requirements to the most depth of sounding. In ophthalmology she must fold an about 5 cm, while at an encephaloscopy an about 25 cm. The most depth of sounding is determined by many factors: piezo-module plates, by power of radiative impulse, quality of strengthener of signals and other. However a determinative is frequency to the ultrasound. The losses of energy in biological fabrics increase almost arc wise with frequency, that is why for the necessity of supervision of the prolonged objects more subzero frequencies (880 kHz) are used, at the objects of small sizes frequency usually gets out in a range 5-10 Mhz.

With the choice of frequency other parameter - discriminability is closely constrained an ultrasound. As an impulse to the ultrasound has certain duration, then signal from two nearby placed beatings back structures it is possible to look after only at distance between them, that exceeds some minimum. This minimum distance and named a discriminability (on a depth). It answers the half of pulse width to the ultrasound. With the increase of frequency a pulse width diminishes, a discriminability rises accordingly. On frequency of 880 kHz a discriminability folds an about 5 mm, there is 5,28 MHz - about 1 mm on frequency.

A deadband adjoins, to the piezo-converter layer of fabrics (and corresponding to them initial part of echogram), information about which cannot be got. It is explained by the presence of radiative impulse, and also attenuation eigentones of piezo-converter. The size of deadband diminishes with the increase of frequency to the ultrasound (a pulse width diminishes) and on frequency 5,28 MHz does not exceed a 7 mm. At a necessity a deadband can be eliminated by means of layer acoustic very thin material, placed between a probe and surface of body.

Information sources

1. Ливенсон А.Р. Электро-медицинская аппаратура. – М.: Медицина, 2004.
2. Квашинин С.Е. Ультразвуковые электроакустические преобразователи и волноводы-инструменты для медицины. - М.: МГТУ, 2007.
3. Березовский В.А. Биофизические характеристики тканей человека: Справочник. - Киев, 2005.

Лапченко Ю.С., к.т.н., Дубина П.В., магистрант

Луцкий национальный тенічний університет

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИКА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ

В статті розглядаються фізичні особливості та методика проведення процедури ультразвукової діагностики. Описані особливості та приклади застосування основних методів ультразвукової діагностики, а саме ехографічного, трансмісійного і доплерівського (основаного на ефекті Доплера). Також наведені історичні відомості щодо розвитку ультразвукових діагностичних методів. Описані та обґрунтовані стабільні та лабільні методики проведення процедури ультразвукової діагностики. Наведено особливості поведінки відбитої ультразвукової хвилі від біологічного об'єкта.

Ключові слова: *ультразвук, трансмісійний метод, ехографічний метод, доплерівський метод, лабільна методика, стабільне методика, імпульс, сигнал, п'єзоперетворювач.*

Лапченко Ю.С., к.т.н., Дубына П.В., магистрант

Луцкий национальный технический университет

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТА МЕТОДИКА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

В статье рассматриваются физические особенности и методика проведения процедуры ультразвуковой диагностики. Описаны особенности и примеры применения основных методов ультразвуковой диагностики, а именно эхографического, трансмиссионного и доплеровского (основанного на эффекте Доплера). Также приведены исторические сведения о развитии ультразвуковых диагностических методов. Описанные и обоснованы стабильные и лабильные методики проведения процедуры ультразвуковой диагностики. Наведены особенности поведения отраженной ультразвуковой волны от биологического объекта.

Ключевые слова: *ультразвук, трансмиссионный метод, эхографический метод, доплеровский метод, лабильная методика, стабильная методика, импульс, сигнал, пьезопреобразователь.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ

Представлена методология научного исследования технологической системы шлифования на примере профильного зубошлифования методом копирования на станках с ЧПУ на основе представления технологической системы в терминах входа, состояния и выхода. Дана характеристика объекта и предмета исследования, методов моделирования, оптимизации и управления на этапах производства и его технологической подготовки. Отмечены особенности технологического анализа на основе теоретико-вероятностного и частотного подходов.

Ключевые слова: зубошлифование, анализ и синтез, объект и предмет исследования, моделирование, оптимизация, управление, мониторинг, технологическая диагностика.

Методология научного исследования предопределяет эффективность получения новых знаний и новые возможности управления технологическим процессом и операциями. Однако в имеющейся литературе недостаточно систематизированных сведений о методах исследования технологических систем машиностроительного производства. Имеющиеся сведения [1] не сопровождаются примерами их практического применения применительно к технологическим системам (ТС) шлифования, в частности профильного зубошлифования на станках с ЧПУ.

1. Методология исследования технологической системы шлифования (как объекта управления) Научное исследование - теория и эксперимент – содержит два этапа принятия решений: анализ (качественный, количественный) и синтез (на основе результатов анализа). На первом этапе выполняют анализ объекта и предмета исследования. На втором этапе разрабатывают системы-конструкции и системы-процессы, позволяющие достичь цели исследования. Данное исследование технологической системы основано на использовании трёх методологических направлений: моделирование, оптимизация и управление (рис 1).

Моделирование позволяет заменить сложные явления (геометрические, теплофизические, динамические и другие) на соответствующие модели (modelling) и исследовать на моделях (simulation) эти явления, в том числе на этапах анализа и синтеза технологической системы шлифования. В свою очередь имеющееся в литературе разнообразие моделей можно разделить по двум основным видам: физические модели и математические. Физические модели, например, процессы-аналоги и компьютерно-графические модели, позволяют целенаправленно исследовать отдельные свойства сложных процессов при устранении влияния на них возмущающих факторов. Например, физическое моделирование процесса профильного зубошлифования процессами-аналогами – плоским или круглым прямоугольным шлифованием – позволяет установить влияние режимов профильного прямоугольного шлифования на качество поверхности и поверхностного слоя. Замена реального объекта – зубчатого колеса (ЗК) на его компьютерно-графическую модель позволяет установить влияние погрешности базирования на распределение припуска перед обработкой и изменение накопленной погрешности шага ЗК после обработки.

Оптимизация позволяет выбрать лучшее решение из возможных вариантов по какому-либо критерию: техническому, временному или финансовому. Этот критерий при моделировании называют целевой функцией. Например, выбор оптимального числа измерений припуска на этапе наладки зубошлифовального станка (перед обработкой) может быть осуществлен исходя из наименьшей погрешности определения экстремальных значений припуска (технический критерий).

Управление позволяет обеспечить целесообразное функционирование процесса, исходя из обеспечения требуемых технологических параметров. Управление осуществляется в двух формах: прямое и косвенное. Прямое управление включает контроль и регулирование, косвенное – мониторинг параметров состояния и/или технологическую диагностику процесса на основе измерения параметров состояния процесса или точностных параметров обработанной детали. Например, диагностика состояния процесса по теплонпряженности позволяет предотвратить шлифовочные дефекты.



Рис. 1. Структурная схема научного исследования ТС шлифования

2. Оптимизация как метод проектирования и управления. Оптимизация в технике (engineering optimization) – быстро развивающаяся область науки, вытекающая из математической теории оптимизации технических систем: конструкций и процессов. Под теорией оптимизации понимают совокупность фундаментальных математических приёмов и численных методов, ориентированных на нахождение и идентификацию наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать полного перебора и оценивания возможных вариантов [2]. Процесс оптимизации лежит в основе всякой инженерной деятельности, поскольку классические функции инженера заключаются в том, чтобы, с одной стороны, проектировать новые более эффективные и менее дорогостоящие технические системы и, с другой стороны, разрабатывать методы повышения качества функционирования существующих систем. Традиционная постановка задачи оптимизации включает ряд этапов: установление границ технической системы, определение количественного критерия для сравнительного анализа вариантов, выбор внутрисистемных переменных для определения характеристик и идентификации вариантов, построение модели процесса для его оптимизации, отражающей взаимосвязи между переменными. Корректная постановка задачи является необходимым условием успешного завершения оптимизационного исследования и «ассоциируется в большей степени с искусством, нежели с точной наукой» [2].

Оптимизация производится методами качественного (хорошо, плохо) и количественного анализа (целевая функция, квалиметрия). Качественный анализ позволяет сформировать структуру ТС для последующего количественного анализа. Этот анализ позволяет обосновать объект и предмет оптимизации. Количественный анализ позволяет оценить сравнительную эффективность технического решения. Это справедливо и для структурной, и для параметрической оптимизации (рис.1). В первом случае, оптимальное решение выбирают из ограниченного количества дискретных вариантов, а во втором случае – из неограниченного количества значений переменной величины, которую изменяют с шагом, зависящим от допустимой погрешности модели оптимизации.

Известно, что оптимизация является общим руководством к научному исследованию, направленному на поиск наиболее выгодного варианта из числа возможных альтернатив [3]. Причем это руководство применяют как метод принятия решений при проектировании технических систем (конструкций и процессов) и при управлении, направленном на поддержание максимальной эффективности функционирующих систем.

Применение методов оптимизации возможно для этапов подготовки производства (оптимизация как метод проектирования) и собственно производства (оптимизация как метод управления). В обоих случаях оптимизацию производят на двух уровнях иерархии: структурном и параметрическом [1,3,4]. Оптимизация как метод проектирования рассматривается в двух категориях: структурная оптимизация связана с выбором состава ТС,

параметрическая – с перебором количественно изменяемых параметров, например режимных параметров зубошлифования. Для выполнения структурной оптимизации формируют возможные компоновки (layouts) ТС, подлежащие оценке и сравнению по выбранному критерию. Приобретаемое у фирмы-поставщика технологическое оборудование с ЧПУ представляет собой целесообразную совокупность элементов технологической системы: станок, инструмент, СОЖ, система ЧПУ, измерительная система. Все эти элементы необходимы для осуществления технологической операции, например операции зубошлифования. По сути это результат структурной оптимизации, которую выполнила фирма-разработчик соответствующей ТС. С течением времени на этапе эксплуатации ТС происходит изменение её исходных элементов. Например, замена шлифовальных кругов на более эффективные высокопористые круги [5]. Ограниченное количество в действующем производстве высокотехнологичного оборудования при большой программе выпуска ЗК приводит к необходимости параллельного использования станков с ЧПУ и более дешевых отечественных станков с цикловым управлением без встроенной измерительной системы. Это приводит к появлению новых вариантов многостаночных ТС, зависящих от условий производства.

На примере зубошлифования методом копирования на станке с ЧПУ типа HOFLEER RAPID 1250 возможны следующие варианты технико-технологического обеспечения производства ЗК.

1. Полностью автоматизированный цикл обработки на станке HOFLEER RAPID 1250 включающий измерение припуска на этапе наладки, выравнивание припуска для уменьшения его неравномерности, зубошлифование с учётом индивидуального распределения припуска, измерение обработанной детали и оценка полученной точности ЗК.

2. Измерение припуска по боковым сторонам впадин зубчатого колеса на станке с ЧПУ типа HOFLEER RAPID 1250, оценка неравномерности припуска, поиск и фиксация на заготовке наладочной впадины, с которой начинают цикл шлифования на другом станке, например, станке с цикловым управлением (без ЧПУ и встроенной измерительной системы).

3. Применение принципа групповой технологии, в соответствии с которым производят классификацию обрабатываемых деталей по типоразмерам и распределение их по оборудованию, исходя из минимального количества вариантов.

4. Технологическая система зубошлифования, работающая при разных характеристиках и наладках абразивного инструмента (прерывистые, высокопористые абразивные круги, многопрофильные наладки, собранные из шлифовальных кругов). Замена характеристики абразивного инструмента приводит к дополнительным исследованиям, связанных с оптимизацией режимов шлифования на основе мониторинга процесса и его технологической диагностики.

5. Быстрая переналадка станка с ЧПУ, работающего в условиях мелкосерийного и единичного производства, на основе перезагрузки управляющей программы и адаптивного цикла измерения припуска перед обработкой с последующим использованием режима вариабельности при зубошлифовании.

Параметрическая оптимизация с использованием индивидуальных особенностей ЗК заключается в поиске оптимальных значений параметров, имеющих возможность количественного изменения, например, параметров режимов резания. Эти параметры могут принадлежать к непрерывному (глубина резания) или дискретному (номер обрабатываемой впадины) изменяющемуся ряду значений.

В соответствии с общей методологией оптимизации выбирают переменные и область их возможного изменения, затем формируют математическую модель оптимизации, в которой отражены как минимум две или сводящиеся к двум тенденции. Далее применяют математические приемы решения задачи оптимизации (раздел математики) для поиска оптимального решения.

Таким образом, внимание необходимо уделить поиску альтернативных структур ТС и их оценке на этапе производства (оптимизация как метод управления). Применительно к зубошлифованию это означает разработку и анализ структуры операции на станке с ЧПУ на этапах наладки и обработки при разных способах определения припуска на зубошлифование. Это вызвано тем, что припуск на зубошлифование зависит от способа наладки станка по результатам его первичного измерения [6]. При уменьшении числа измерений припуска возрастает его неопределенность (uncertainty), которую компенсируют отводом шлифовального круга от заготовки ЗК. Это приводит к увеличению числа рабочих ходов и снижению производительности обработки. Увеличение числа измерений припуска на этапе наладки

станка устраняет этот недостаток, однако при этом время операции увеличивается на величину времени измерения. При разработке разных способов определения припуска перед обработкой возникают варианты структурных компоновок ТС, и оптимизация операции является методом повышения эффективности управления станком, т.е. является методом управления (в отличие от метода проектирования).

Таким образом, методология оптимизации как метода управления процессом зубошлифования включает следующие этапы:

- 1) формирование структуры операции, исходя из предварительно сформулированного критерия или подхода;
- 2) определение режимов и трудоемкости для каждой структуры операции, исходя из разработанных математических моделей процесса и параметрической оптимизации;
- 3) сравнение различных структур операции с помощью соответствующих оценочных функций (оценка технического уровня, оценка технического состояния).

3. Исследование технологической системы профильного зубошлифования. Теория технических систем охватывает системы-конструкции и системы-процессы. Причём системы-конструкции предназначены для реализации систем-процессов. В этом смысле ТС механической обработки, например, шлифования, является системой-конструкцией, которую собирает технолог для реализации системы-процесса, например, процесса профильного зубошлифования. В соответствии с теорией технических систем одним из важных начальных этапов разработки систем является их адекватное описание (description) и моделирование (simulation), которые могут быть представлены в соответствующих форматах: словесное описание (текст) на обычных языках, специальные знаковые системы (языки программирования), блок-схемы, графы, математическая модель, временная диаграмма, комбинированный способ и т.п. Выбор соответствующего способа описания и моделирования зависит от цели исследования. Если такой целью является создание условий, обеспечивающих требуемое протекание процесса, т.е. выполнение необходимого алгоритма функционирования, то говорят об управлении процессом [7] и соответствующем алгоритме управления. В этом случае разрабатываемую техническую систему представляют в виде модели системы управления, имеющей вход, состояние и выход. При таком моделировании ТС – это математическая абстракция, принимаемая в качестве модели динамического явления [8], которая представляет это динамическое явление в терминах математических отношений. Модель системы управления характеризуют её входом, состоянием и выходом.

Вход представляет собой внешние «силы» в виде множества временных функций, действующих на динамическое явление (процесс). Состояние и выход представляют собой меры непосредственно наблюдаемого поведения этого явления (процесса). Зависимость между входом и выходом может быть сильной или слабой. Базовой характеристикой любого динамического явления является поведение системы, на котором в любой момент времени отражаются не только текущие приложенные силы (входные параметры), но также те из них, которые были приложены в прошлом по отношению к данному моменту времени. В этом смысле динамическое явление обладает памятью, в которой сохраняется влияние прошлых приложенных сил (параметров). При разработке модели указанное состояние системы представляет собой векторную функцию времени. Знание состояния системы в любой момент времени t_0 и знание указанных входных параметров достаточно, чтобы определить выход и состояние системы в любой момент времени $t \geq t_0$, т.е. начиная с момента t_0 . Обобщённые отношения между входом, состоянием и выходом абстрактной кибернетической системы можно показать в виде схемы (рис.2).

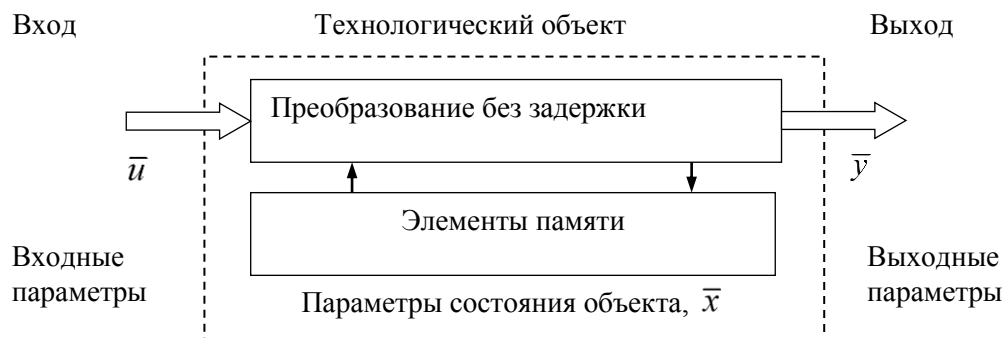


Рис. 2. Концептуальное представление ТС на основе модели «вход-состояние-выход» (возмущения не показаны) [8]

В общем случае вход $\bar{u}$, состояние $\bar{x}$ и выход $\bar{y}$ системы являются векторными функциями времени, имеющими соответствующую размерность. Зависимость указанных функций от времени предполагает потенциальную возможность использования частотного подхода к исследованию системы.

Для всех указанных явлений (физических и иных) справедливы следующие принципы теории систем: физической реализуемости, детерминированности (определённости), стохастичности [8]. Первый принцип (non-anticipation principle) означает, что состояние и выход системы в любой момент времени t_0 может быть функцией только тех входных величин, которые имели место при $t < t_0$. Второй принцип характеризует детерминированную систему (deterministic system) у которой состояние и выход могут быть определены с уверенностью на основе полного знания её состояния в момент времени t_0 (необходимое условие) и знания входа $\bar{u}(t)$ на интервале времени $t \geq t_0$ (достаточное условие). Третий принцип определяет стохастическую систему (stochastic or nondeterministic system). Для стохастической системы указанное знание о состоянии и входе является достаточным только чтобы обеспечить статистическое описание (statistical description) состояния и выхода системы в момент времени t . Указанная особенность автоматизированных ТС предполагает использование теоретико-вероятностного подхода для их исследования, что предполагает статистическое описание параметров системы (наряду с детерминированным описанием).

Современные исследования ТС шлифования на станках с ЧПУ выполняют по различным направлениям, в зависимости от предмета исследования. Когда объектом исследования является процесс в технологической системе, то предметом исследования могут быть разные его свойства, начиная от методов формообразования (например, профильное зубошлифование или зубошлифование червячным кругом), выбора элементов технологической системы, и заканчивая разработкой мониторинга процесса [9], его технологической диагностикой и адаптивным управлением [10].

Процесс шлифования при моделировании представляют в качестве звена системы управления [5], которая может быть разомкнутой (без обратной связи) или замкнутой (с обратной связью). На основании такого моделирования технологическая система шлифования может быть представлена в виде интегрированного взаимодействия двух видов технических систем: системы-конструкции и системы-процесса (рис.2). Выходные параметры технологической системы (результат её функционирования) вытекают из принципа целеполагания, который в свою очередь определяется функциональным назначением изготавливаемой детали. Это нашло отражение в современной функционально-ориентированной технологии производства ЗК. Обычно выходными параметрами технологической системы являются численные значения параметров точности обработки и качества обработанной поверхности и поверхностного слоя. Например, применительно к процессу профильного зубошлифования (рис.3) к числу точностных параметров относятся следующие: форма профиля, угол профиля, форма линии зуба, угол наклона зуба, шаг зубьев, радиальное биение и другие. Эти параметры при зубошлифовании на станке с ЧПУ оценивают с помощью встроенной измерительной системы тактильного (tactile) типа, например, измерительной системы Renishaw (рис.4).

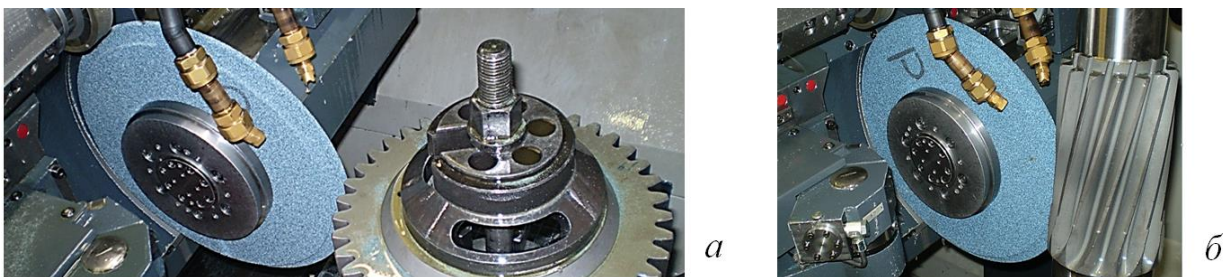


Рис. 3. Технологическая система профильного зубошлифования при обработке зубчатого колеса (а) и вала-шестерни (б) на зубошлифовальном станке с ЧПУ HÖFLER RAPID 1250

На станках с ЧПУ имеется следящая система мониторинга параметров состояния технологической системы [9], которая является элементом технологической диагностики и предназначена для поддержания стабильности функционирования ТС (рис.5).

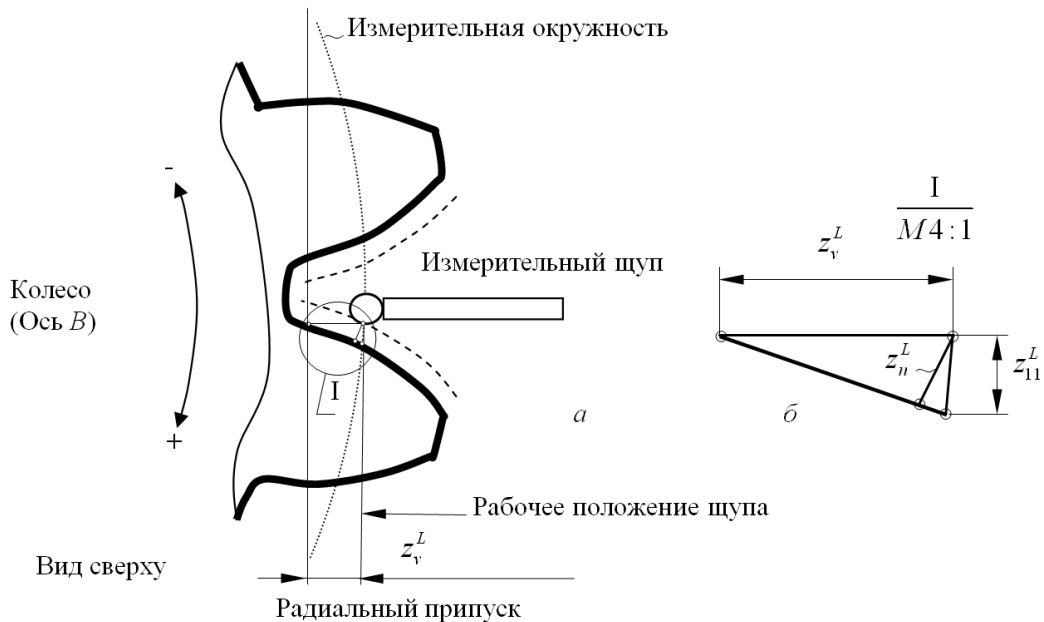


Рис. 4. Измерение припуска перед зубошлифованием контактным щупом компании Renishaw (а) и составляющие припуска (б): z_v^L , z_n^L – припуски при вертикальном и нормальном исчислении; z_{11}^L – припуск при исчислении по измерительной окружности

Например, при профильном зубошлифовании к числу параметров состояния можно отнести следующие: Q'_w , V'_w , F , T , $AЭ$. Здесь Q'_w (specific material removal rate) и V'_w (specific material removal) – удельные параметры съёма припуска; T , F – температурный (temperature) и силовой (force) параметры процесса; $AЭ$ – параметр акустической эмиссии (acoustic emission). Некоторые из указанных параметров используются для мониторинга процесса профильного зубошлифования на станке с ЧПУ HOFER RAPID 1250: Q'_w , V'_w , $AЭ$. Вместо параметров F и T на этом станке имеется выведенный на монитор сигнал мощности привода шлифовального круга, который представлен для визуального наблюдения цифровым или аналоговым индикатором уровня. Можно выполнить преобразование этого сигнала в соответствующий сигнал теплонапряженности процесса.

Следует отметить, что рассмотренная кибернетическая модель автоматизированной технологической системы (рис.5) соответствует принципу информационного обеспечения производственного процесса, высказанному профессором И.М. Колесовым: "До сих пор технология машиностроения в очень малой мере занималась изучением информационных процессов на производстве. Для восполнения пробела в этом направлении требуется большая научная работа, которая должна быть направлена на разработку метода описания производственных и технологических задач с точки зрения информационного процесса, на выработку языка описания, согласующегося с машинным языком, на разработку алгоритмов и программ для управления решением типовых задач" [11].

4. Теоретико-вероятностный и частотный подходы в технологическом анализе
Технология машиностроения относится к числу наук о процессах (process science), обеспечивающих требуемый технологический результат: количество и качество продукции, сроки изготовления при наименьшей трудоёмкости и себестоимости. Объектом этой науки является разработка и обеспечение технологического процесса изготовления машиностроительной продукции, состоящего из операций обработки и сборки. Частью этих операций является процесс взаимодействия элементов технологической системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка», который определяет затраты основного (машинного) времени.

Технологический анализ, как метод научного исследования в технологии машиностроения, обычно выполняют на этапах производства и его подготовки (технологическая подготовка производства), которые являются этапами жизненного цикла изделия. На обоих этих этапах используется оптимизация, которая является, соответственно, методом управления (этап производства) и методом проектирования (этап подготовки производства). Как правило, количественный технологический анализ основан на математическом аппарате инженерной физики по таким её составляющим как кинематика,

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

теплофизика и динамика, которые, в этой связи называют технологическими: технологические кинематика, теплофизика и динамика. Эти технологические направления соответствуют природе явлений, происходящих при механической обработке – движение, тепловой и силовой факторы – и являются научными основами обеспечения эксплуатационных характеристик изделий машиностроения.

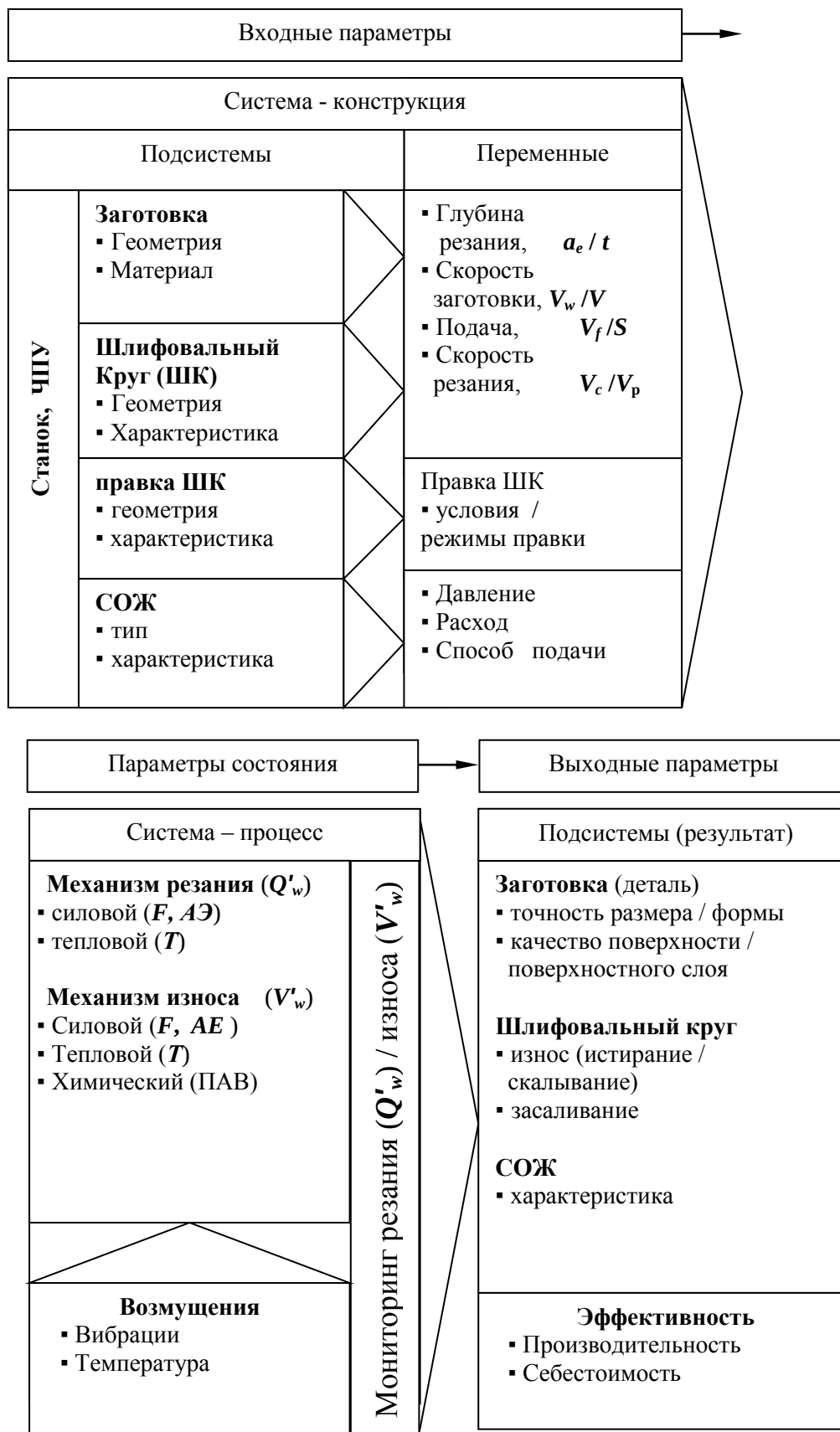


Рис. 5. Кибернетическая модель автоматизированной технологической системы шлифования: в дробных обозначениях режимных параметров указаны зарубежные [9] и отечественные обозначения

Технологии машиностроения как науке о процессах соответствуют два общенаучных подхода: теоретико-вероятностный [12] и частотный [13]. В соответствии с теоретико-вероятностным подходом любой параметр процесса, преобразованный в информационный сигнал, является комбинацией двух компонент: систематической (детерминированной, регулярной) и случайной (стохастической). Поскольку параметры реального процесса редко могут быть детерминированными, то в этом смысле детерминированная величина может описывать некий абстрактный, виртуальный, реально не существующий процесс. Выводы, которые можно извлечь из моделирования детерминированного процесса могут оказаться полезными для практики, если они касаются, не абсолютной величины, а каких-либо выявленных тенденций (тренд, поведение). Случайная величина также имеет место в технологическом анализе, например, при оценке и моделировании неровностей обработанной поверхности (шероховатость, волнистость, отклонения формы), распределении припуска по зубьям ЗК, при анализе вибраций в упругой системе металлорежущего станка, оценке погрешности эксперимента и/или измерения [14]. Имеется соответствующий математический аппарат теории случайных процессов, который используют для принятия технологических решений. В этом случае рассматриваемые технологические параметры (параметры шероховатости, припуск на обработку и т.п.) являются статистическими (не детерминированными) и, следовательно, определяются соответствующими законами распределения случайной величины (распределения Гаусса, Стьюдента и т.п.), имеют среднее значение и доверительный интервал.

Как правило, в технологических исследованиях чаще имеет место композиция двух составляющих процесса: систематической (детерминированной) составляющей, которая определяет тренд, и случайной, наложенной на этот тренд. Основные технологические закономерности проявляются в изменении детерминированной составляющей (например, при многофакторном планировании эксперимента), а случайная составляющая является при этом «шумовой» и характеризует надежность оценки устанавливаемой закономерности. По этой причине теоретико-вероятностный подход по своей сути и математическому аппарату соответствует природе реального технологического процесса (операции), в том числе на настроенных станках в серийном производстве и на станках с ЧПУ в мелкосерийном и единичном производстве.

Соответствие частотного подхода природе технологических процессов механической обработки, т.е. первичному изменению технологических параметров во времени, следует из сущности интегрального преобразования Фурье, предназначенного для трансформации временных параметров процесса в частотные параметры (прямое преобразование Фурье) и обратно из частотных параметров во временные параметры (обратное преобразование Фурье). Частотное представление технологических параметров в виде соответствующих сигналов позволяет принимать эффективные технологические решения путем внесения соответствующих корректив в передаточные функции ТС. Например, коррективы в режимы резания могут быть внесены для обеспечения устойчивой работы ТС, т.е. для вывода её из неустойчивого состояния. Другим примером эффективности частотного подхода является разделение спектра неровностей обработанной поверхности на частотные составляющие, которые соответствуют категориям шероховатости, волнистости и отклонениям формы профиля. Эту математическую операцию производят с помощью цифровых фильтров, в том числе фазокорректирующих или по специальному алгоритму [14].

Положительным качеством рассматриваемой методологии двух подходов (теоретико-вероятностного и частотного) является естественное взаимодействие этих подходов, поскольку результаты теоретико-вероятностного моделирования (математического описания) технологических параметров и результаты их экспериментального измерения могут быть подвергнуты частотному преобразованию Фурье. При этом возможны следующие случаи: систематическая составляющая сигнала превалирует над случайной составляющей сигнала или не превалирует. В первом случае, говорят, например, о периодическом сигнале. В противном случае (случайная составляющая сигнала больше систематической составляющей) говорят об апериодическом сигнале. Количественное соотношение между систематической и случайной составляющими выявляют с помощью автокорреляционной функции исходного сигнала [15].

Практика технологических исследований подтверждает правомерность представления технологического сигнала в виде суммы систематической (периодической, полигармонической) и случайной (апериодической) составляющих. Например, по этому принципу построены европейские (ISO) или американские (ANSI, ASME) стандарты по шероховатости и волнистости поверхности. Такой принцип позволяет, например, установить взаимосвязь между

периодическими сигналами вибраций и волнистостью обработанной поверхности. В общем случае теоретико-вероятностный подход или отнесение изучаемой ТС к типу детерминированно-стохастической является научной гипотезой до сих пор не опровергнутой технологической практикой.

Для временных сигналов с превалирующей систематической составляющей их частотное представление по Фурье имеет вид дискретного спектра, т.е. каждой явно выраженной амплитуде гармоники соответствует определенная частота. Поэтому, обратное преобразование Фурье может быть выполнено путём суперпозиции соответствующих явно выраженных и дискретных гармонических составляющих. Амплитуду этих составляющих берут из амплитудно-частотной характеристики сигнала, а фазу – из его фазочастотной характеристики.

Особенностью технологических исследований является ограниченный временной интервал наблюдения сигнала, характеризующего технологический параметр. Например, запись вибраций в упругой системе металлорежущего станка производят на дискретных, ограниченных интервалах времени длительностью 0,2с. при частоте дискретизации исходного временного сигнала 30 кГц. Этот незначительный по длительности временной интервал (0,2с.) преобразуют в соответствующий спектр сигнала и наблюдают за изменением частотных компонент сигнала во времени. При этом текущее время складывается из суммы интервалов длительностью 0,2с. При измерении припуска на отдельных впадинах ЗК весь интервал изменения припуска характеризуется длиной измерительной окружности $2\pi R$ (рис.4), где R – радиус измерительной окружности заготовки. Ещё одним примером ограниченности длины временного интервала наблюдения является длина трассирования при измерении щупом параметров качества поверхности. Ограниченность указанного интервала наблюдения приводит к нескольким сложностям применения указанных методологических подходов. Во-первых, представление любой временной периодической функции в виде дискретного спектра, т.е. в виде ряда Фурье, возможно, если указанная функция существует на бесконечном интервале времени. Всякое ограничение этого интервала по времени или координате, характеризующей время, нарушает требования бесконечности наблюдаемого процесса (периодического или аperiodического). Это приводит к невозможности гармонического представления сигнала в виде ряда Фурье (или дискретного частотного спектра). В этом случае преобразование Фурье выражают интегралом Фурье. Он даёт непрерывный спектр в функции частоты изменения сигнала. Аналогом амплитуды сигнала в спектре является спектральная плотность сигнала. Во-вторых, при ограниченном (по времени или координате) сигнале этот сигнал часто содержит постоянную составляющую (direct component), имеющую ту же самую ограниченную протяжённость по времени или координате. Из свойства линейности преобразования Фурье, следует, что выходной частотный спектр будет содержать спектральную часть от одиночного прямоугольного импульса, длина которого равна указанному отрезку координаты. Спектр этого сигнала является непрерывным и описывается специальной функцией $\text{sinc}(x)$. Этот спектр может превалировать над спектром переменной части сигнала, что может «свести на нет» результаты частотного анализа сигнала. В-третьих, задачей является выбор частоты дискретизации исходного сигнала, исходя из требуемого диапазона частот этого сигнала в его частотном представлении. Такая задача возникает при выборе оптимального числа измерений припуска на зубошлифование в отдельных (не всех) впадинах ЗК.

Выводы

1. Использование кибернетической модели технологической системы шлифования предполагает организацию и исследование процесса управления, который является согласующим процессом, сопровождающим процессы механической обработки (шлифование) и износа шлифовального круга исходя из предварительно сформулированных требований, указанных на чертеже обрабатываемой детали.

2. В зависимости от получаемого результата шлифования управляющие воздействия на объект (процесс зубошлифования) могут быть скорректированы или продолжены после окончания цикла обработки в зависимости от фактически получаемых результатов, что свидетельствует о наличии отрицательной обратной связи в системе управления процессом шлифования.

3. Классификация параметров технологической системы шлифования на входные, состояния и выходные предопределяет методологию научных исследований этой системы и принятые подходы к её исследованию и оптимизации. К числу таких подходов относятся следующие: кибернетический подход, системный, теоретико-вероятностный, частотный и

другие.

4. На современном этапе исследования технологической системы шлифования на станках с ЧПУ управление процессом является автоматизированным в том смысле, что решение о внесении соответствующих корректирующих воздействий принимает оператор, обслуживающий станок. Проявление кибернетического подхода к управлению процессом зубошлифования подтверждается встроенной в ЧПУ системой технологического мониторинга по указанным параметрам состояния технологической системы, в том числе по параметру акустической эмиссии (AE signal), который используют для управления циклом шлифования и правки шлифовального круга.

5. Прогресс в развитии автоматизации технологической системы шлифования приводит к разработке автоматизированной системы технологической диагностики (дальнейшее развитие мониторинга) и адаптивных систем не только по параметрам состояния технологической системы, но также по её выходным параметрам (точность обработки и качество поверхности).

6. Предложены методы обеспечения адекватного применения теоретико-вероятностного и частотного подходов в технологических исследованиях. Например, сформулированы требования по нормированию исходного сигнала технологического назначения.

7. Разработана методика для дискретного представления спектра, т.е. в виде ряда Фурье, при наличии ограниченного по времени или координате технологического сигнала. Методика заключается в n -кратном повторении сигнала, из которого предварительно устранена его постоянная составляющая.

8. Даны рекомендации по выбору частоты дискретизации исходного сигнала технологического назначения, исходя из требуемого диапазона частот при частотном представлении этого сигнала, например, сигнала, характеризующего припуск на зубошлифование и его распределение по впадинам зубчатого колеса.

Информационные источники

1. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. посібник / Б.О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2001. – 232 с.
2. Реклейтис Г. Оптимізація в техніці: В двох книгах. Кн. 1. Пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэтсел. – М.: Мир, 1986. – 349 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.8. “Оптимизация технологических процессов в машиностроении”. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 509 с.
4. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
5. Ларшин В.П. Профильное шлифование зубчатых колёс высокопористыми абразивными кругами / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, С.В. Рябченко, В.В. Нежебовский, Г.В. Середа // Оборудование и инструмент. – 2016. – №5 /190/. – С.20-23.
6. Лищенко Н.В. Оптимизация профильного зубошлифования на станке с ЧПУ и системой измерения припуска / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, В.В. Нежебовский // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2016. – Вип.1 (26). – С.50-61.
7. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1977. – 560 с.
8. Freeman Herbert. Discrete-time systems: an introduction to the theory / Herbert Freeman. – New York: J. Wiley, 1965. – 241 p.
9. Klocke Fritz. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping / Fritz Klocke. – Berlin: Springer, 2009. – 433 с.
10. Рыбалко А.П. Системы технологической диагностики и адаптивного управления для станков с ЧПУ / А.П. Рыбалко, Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип.1 (25). – С. 94-108.
11. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999. – 591 с.
12. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход), под ред. А.А. Первозванского / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с.
13. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры: Пер. с англ. / Под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. Радио, 1980. – 224 с.
14. Лищенко Н.В. Спектральный анализ при измерении параметров шероховатости и волнистости фрезерованной поверхности / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, Ф.С. Сабиров. – //

Сучасні технології в машинобудуванні [Текст]: зб. наук. праць. – Вип.10 / редкол.: В.О. Федорович (голова) [та ін.] . – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С.222-234.

15. Лищенко Н.В. Разделение профиля поверхности на систематическую и случайную составляющие / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. / редкол.: А.И. Грабченко (отв. ред) . – Харьков: НТУ «ХПІ», 2016. – Вип.86 . – С.62-73.

¹Ларшин В.П., д.т.н. ²Лищенко Н.В. к.т.н

¹Одеський національний політехнічний університет

²Одеська національна академія харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗУБОШЛІФУВАННЯ

Представлена методологія наукового дослідження технологічної системи шліфування на прикладі профільного зубошліфування методом копіювання на верстатах з ЧПК на основі подання технологічної системи в термінах входу, стану і виходу. Дана характеристика об'єкта і предмета дослідження, методів моделювання, оптимізації та управління на етапах виробництва і його технологічної підготовки. Відмічені особливості технологічного аналізу на основі теоретико-імовірнісного і частотного підходів.

Ключові слова: зубошліфування, аналіз і синтез, об'єкт і предмет дослідження, моделювання, оптимізація, управління, моніторинг, технологічна діагностика.

V. ¹Larshin, N. ²Lishchenko

¹Odessa National Polytechnic University

²Odessa National Academy of Food Technologies

GEAR GRINDING SYSTEM RESEARCH

The methodology of scientific research of the technological grinding system is presented using the example of profile grinding by copying method on CNC machines on the basis of the representation of the grinding system in terms of input, state and output. The characteristics of the object and the subject of research, methods of modeling, optimization and control at the production stages and its technological preparation are given. Features of technological analysis based on the theoretical-probabilistic and frequency approaches are noted.

Keywords: gear grinding, analysis and synthesis, object and subject of research, modelling, optimization, control, and monitoring, technological diagnostics.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ
ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ**

З метою підвищення надійності функціонування гвинтових конвеєрів і захисту шнеків від поломок розроблено цілий ряд пружно-запобіжних муфт. Для визначення їх характеристик розроблено і виготовлено експериментальне обладнання. З його допомогою можна проводити дослідження з можливістю моделювання відповідних процесів в широких діапазонах з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження.

Ключові слова: експериментальні дослідження, привід, гвинтовий конвеєр, пружно-запобіжна муфта.

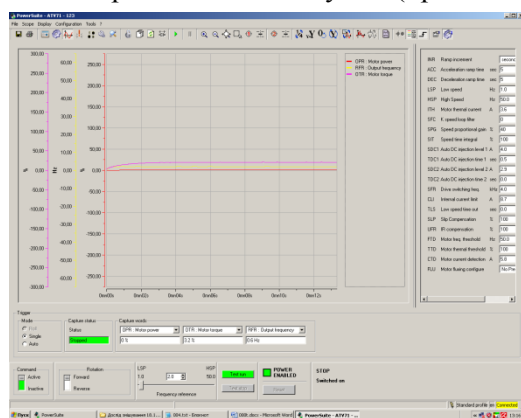
Постановка проблеми. Гвинтові механізми є складовою комплексної механізації й автоматизації виробництва і знайшли саме широке застосування у різних галузях економіки. Під час виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими конвеєрами (ГК) часто виникають перевантаження, що зумовлені як технологічними процесами виконання операцій, так і випадковими явищами, які призводять до значних деформацій і поломок гвинтових робочих органів (ГРО). Тому створення нових і удосконалення існуючих конструкцій транспортно-технологічних механізмів сприяє подальшому розвитку виробництва та підвищенню продуктивності праці.

Аналіз останніх досліджень. Питанням розробки, удосконалення і дослідження конструкцій гвинтових механізмів присвячені праці Григор'єва А.М. [3], Гевка Б.М. [6], Рогатинського Р.М. [9], Пилипця [8] та інших, а питаннями дослідження динамічних процесів в приводах машин присвячені роботи Нагорняка С.Г. [7], Малащенко В.С. [5], Ловейкіна В.С. [4] тощо. У відомих дослідженнях особлива увага звернута на питання підбору конструктивно-технологічних параметрів ГРО і процесів транспортування вантажів, проте проблема підвищення надійності функціонування гвинтових конвеєрів і захисту шнеків від поломок залишається актуальною.

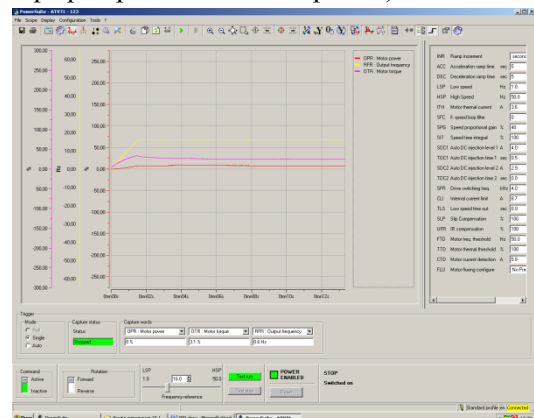
Метою роботи є розробка експериментального обладнання для дослідження динамічних навантажень в приводах гвинтових конвеєрів оснащених пружно-запобіжними муфтами.

Реалізація роботи. При транспортуванні вантажів ГК виникають різноманітні перевантаження, що зумовлені як технологічними факторами, так і випадковими явищами. Вони призводять до значних деформацій і руйнування елементів ГК, і в першу чергу ГРО. Особливо значними вони виявляються у момент пуску ГК [1, 2].

З метою підвищення надійності та довговічності конструкцій ГК було проведено ряд експериментальних досліджень, що стосуються пускових динамічних навантажень [1]. Зокрема проводились дослідження динамічних навантажень, які виникають у жорсткому (рис. 1, рис. 2) та гнучкому (рис. 3) ГК при плавному та різкому пуску у розвантаженому та завантаженому стані з отриманням даних у ПК (приклад вікна осцилографа представлено на рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Вікно осцилографа з результатами пікових моментів, що виникають у гвинтовому транспортері при пуску в незавантаженому стані:

а) при плавному розгоні ($t = 10$ с.); б) при різкому пуску ($n = 454,4$ об/хв.)

На рис. 2 представлені залежності пікового моменту від коефіцієнта завантаження ($K_z = 0 \dots 0,7$) при плавному (розгін протягом 10 с) і різкому ($n = 454,4$ об/хв.) пуску (діаметр шнека – 150 мм; довжина шнека – 1,97 м; діаметр вала – 58 мм; матеріал - пісок). З рис. 2 видно, що при різкому пуску величина пікового моменту є значно більшою (в 1,36...1,98 рази), у порівнянні з величиною пікового моменту при розгоні ГК протягом 10 с., і при збільшенні завантаження матеріалом вона зростає.

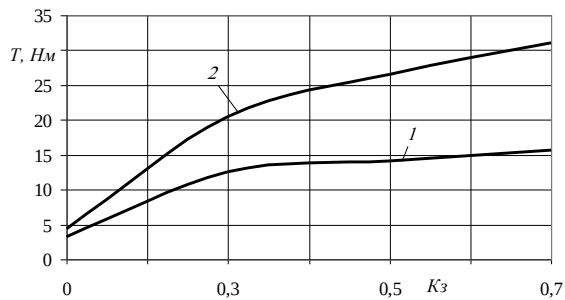


Рис. 2. Залежність величини пікового моменту при пуску жорсткого ГК від коефіцієнта завантаження при:

- 1 – плавному пуску (розгін протягом 10 с.);
- 2 – різкому пуску ($n = 454,4$ об/хв.)

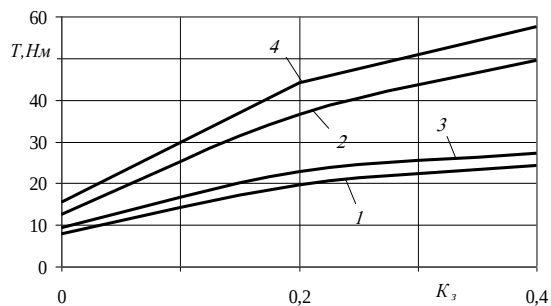


Рис. 3. Залежність величини пікового моменту при пуску гнучкого ГК від коефіцієнта завантаження при:

- 1 і 2 – плавному та різкому пуску (спіральний ГРО);
- 3 і 4 – плавному та різкому пуску (секційний ГРО)

На рис. 3 представлені залежності пікових моментів, що виникають у гнучких ГК при запуску від коефіцієнта завантаження ($K_z = 0,3 \dots 0,7$) при плавному (протягом 10 с) і різкому ($n = 454,4$ об/хв.) пуску для спірального та секційного гвинтових робочих органів (ГРО) (внутрішній діаметр кожуха $D_k = 100$ мм; діаметр ГРО – 96 мм; довжина ГРО – 4 м; транспортований матеріал - пісок). З рис. 3 видно, що при різкому пуску величина пікового моменту є більшою в 1,59...2,02 рази для спірального ГРО та в 1,67...2,13 рази для секційного ГРО, у порівнянні з величиною пікового моменту при розгоні гнучкого ГК протягом 10 с, і при збільшенні завантаження ГК вона зростає.

Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок, що як для жорстких так і для гнучких ГК для зменшення пікового моменту при пуску в завантаженому стані необхідно забезпечувати їх плавний розгін, або використовувати у їх приводах пружно-запобіжні муфти. Також використовуючи дані досліджень можна зробити висновок, що при пуску гнучкого ГК для зменшення пікового моменту потрібно випрямити ГРО, або, якщо немає можливості, забезпечити максимальний радіус кривини його магістралі. Проектуючи ГРО слід дотримуватись умови його рівномірності, яка виходить із необхідності витримування рівномірності допустимого навантаження по всій його довжині (найбільш навантажені ланки у місці кріплення ГРО з привідним валом), використовувати гвинтові спіралі з пружно-запобіжним з'єднанням секцій, та кожухи, що забезпечують мінімальне тертя по власній внутрішній поверхні. Також за результатами проведених досліджень для вирішення даної проблеми прийнято ряд конструктивних рішень, що полягають у використанні в конструкціях ГК спеціально розроблених пружно-запобіжних муфт (рис. 4) та завантажувально-захисних насадок (рис. 5).

Розроблені пружно-запобіжні муфти забезпечують плавний запуск шнека під час пуску привода та зменшення динамічних навантажень на ГРО в процесі перенавантаження.

Ще одним важливим критерієм роботи гнучких ГК вважається продуктивність, максимальну величину якої можна забезпечити оптимальним завантаженням через бункери або насадки. Тому для вирішення цієї проблеми в завантажувальних магістралях гнучких ГК нами розроблені завантажувально-захисні насадки (рис. 5), суть роботи яких полягає в тому, що при перевантаженні конвеєра, коли занадто велика кількість матеріалу потрапляє до магістралі, проходить розтягування спіралі під дією матеріалу, і при розміщені в конструкції насадки певних елементів це забезпечує перекривання отворів просипання. Так у насадці 2 з наконечником 1 (рис. 5.а), яку закріплено в гнучкому кожусі 5, наприкінці гнучкої спіралі 3 на її зовнішньому контурі розміщено втулку 4, яка під час перевантаження та розтягування спіралі частково перекриває отвори просипання 6, зменшуючи завантаження ГК. У насадці 3 з наконечником 1 (рис. 5.б), закріпленої в гнучкому кожусі 8, розташовано транспортну спіраль

7, яка закріплена на торці цанги 5, на якій розташовано еластичну спіраль 6. При перевантаженні ГК та розтягуванні спіралі 7 проходить осьове зміщення цанги 5 у бік конуса 2 з її розтиском, що призводить до деформації еластичної спіралі 6, перекриття отворів просипання 4 і зменшення навантаження.

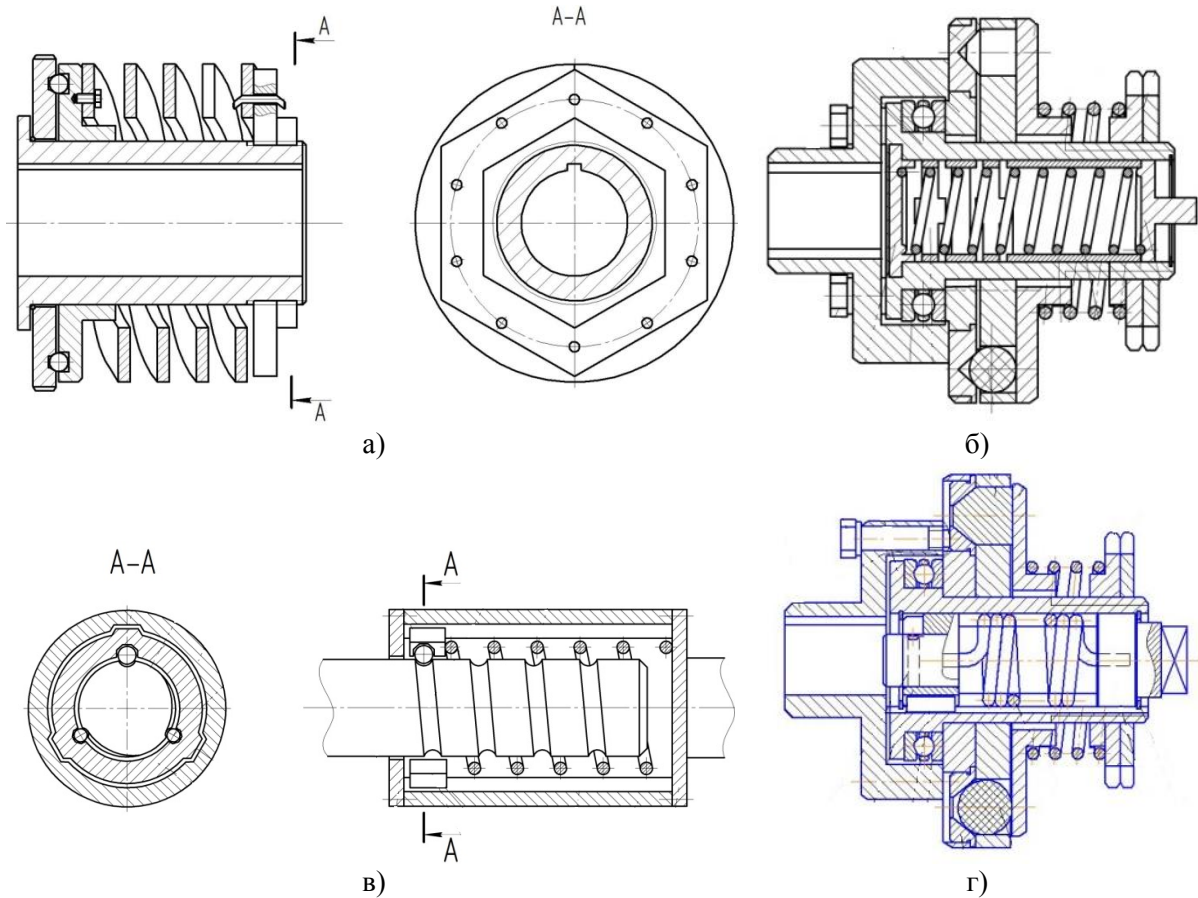


Рис. 4. Пружно-запобіжні муфти: а) пат. України № 112995; б) пат. України № 115032; в) заявка на пат. України № а 2017 02361; г) власна розробка

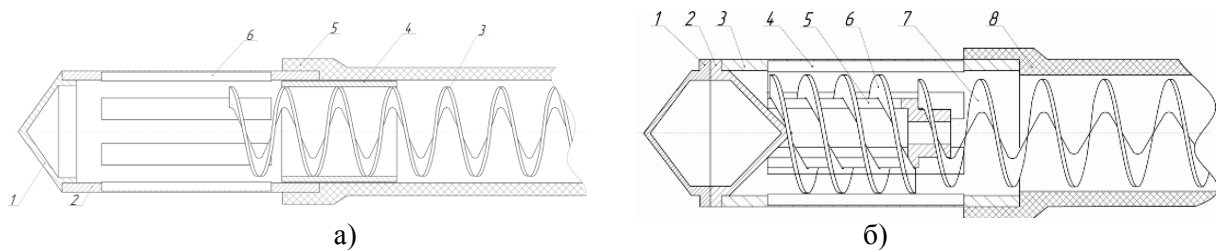


Рис. 5. Конструкції навантажувально-захисних насадок ГК

Розроблену пружно-запобіжну муфту ГК (рис. 4.б) виготовлено (рис. 6) для її включення в конструкцію привода ГК з метою подальшого проведення експериментальних досліджень.

Для проведення експериментальних випробувань розроблено і виготовлено експериментальну установку, схему якої зображено на рис. 7, а загальний вигляд на рис. 8. Експериментальна установка складається з опори 1, електродвигуна 2, досліджуваної пружно-запобіжної муфти 3, бункера з шибром 4, патрубку зі шнеком 5, регульованого вивантажувального отвору 6, монітора 7, персонального комп'ютера (ПК) 8 та перетворювача частоти (ALTIVAR 71) 9.

Стенд працює наступним чином. Обертальний момент з електродвигуна 2 через досліджувану муфту 3 передається на шнек 5 ГК. Сипкий матеріал засипається в бункер 4 і з нього потрапляє до патрубка зі шнеком 5. Величина просипання регулюється шибром, що встановлений у бункері. Далі матеріал транспортується до регульованого вивантажувального отвору 6. Регулюванням вивантаження матеріалу створюється додаткове навантаження на шнек, і, відповідно, на досліджувану пружно-запобіжну муфту. Пружні властивості муфти

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

дозволяють в значній мірі компенсувати виникаючі у шнеку навантаження, а у випадку значного перевантаження шнека і його аварійної зупинки проходить розчеплення півмуфт. Після зменшення навантаження до заданого пружно-запобіжна муфта відновлює своє зачеплення і проходить включення шнека.

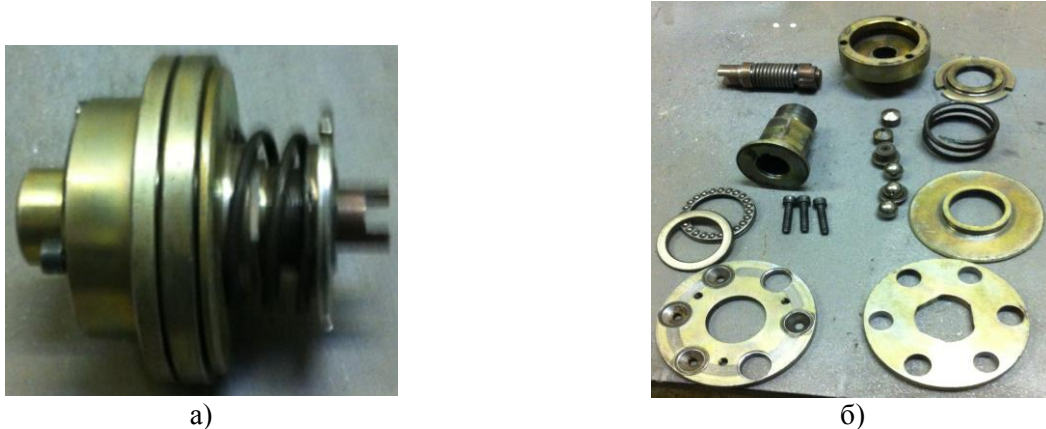


Рис. 6. Досліджувана пружно-запобіжна муфта ГК власної розробки:
а) загальний вигляд; б) вигляд муфти в розібраному вигляді

Для покращення точності та зручності проведення дослідів у кінематичний ланцюг стенда вмонтовано автоматизований електропривід [1], який включає трьохфазний асинхронний електродвигун, що керується перетворювачем частоти (Altinar-71) (ПЧ) з ПК за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0. Завдяки цій програмі здійснюється вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводився його запуск. При керуванні роботи двигуна є можливість плавного нарощування та зменшення його частоти обертання в межах від 0 до 1480 об/хв., що дозволяє виконувати дослідження статичних і динамічних процесів. Крім того, існує можливість включення реверсу вала двигуна. Дані про витрати енергії і величину обертового моменту на валу електропривода, в залежності від навантаження, в установлені терміни часу у вигляді табличних даних та графічних залежностей відображаються на моніторі дисплея комп'ютера у відсотках від номінальних величин. Для побудови графічних залежностей використовуються максимальні значення дослідних даних.

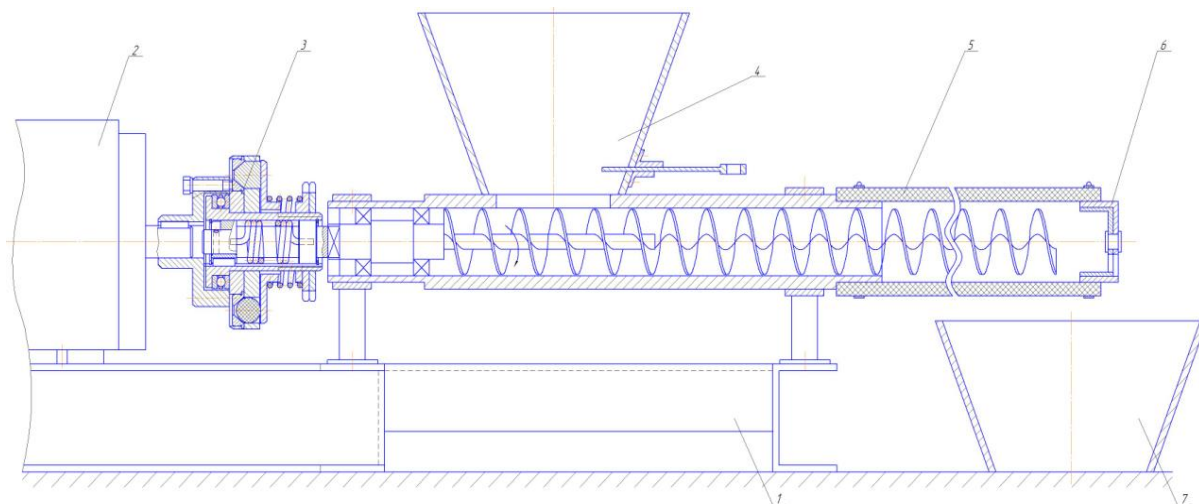


Рис. 7. Схема експериментальної установки для дослідження привода гвинтового конвеєра оснащеного пружно-запобіжною муфтою

Робочий термінал перетворювача частоти дозволяє відображати його характеристики, електричні величини, робочі параметри і несправності; змінювати настройки і конфігурацію ПЧ; керувати перетворювачем в локальному режимі за допомогою клавіатури після підключення до комп'ютера; зберігати і відновлювати конфігурацію в енергонезалежній пам'яті терміналу. ПЧ забезпечує три режими роботи: транспортування, загальний режим чи режим із змінним моментом.

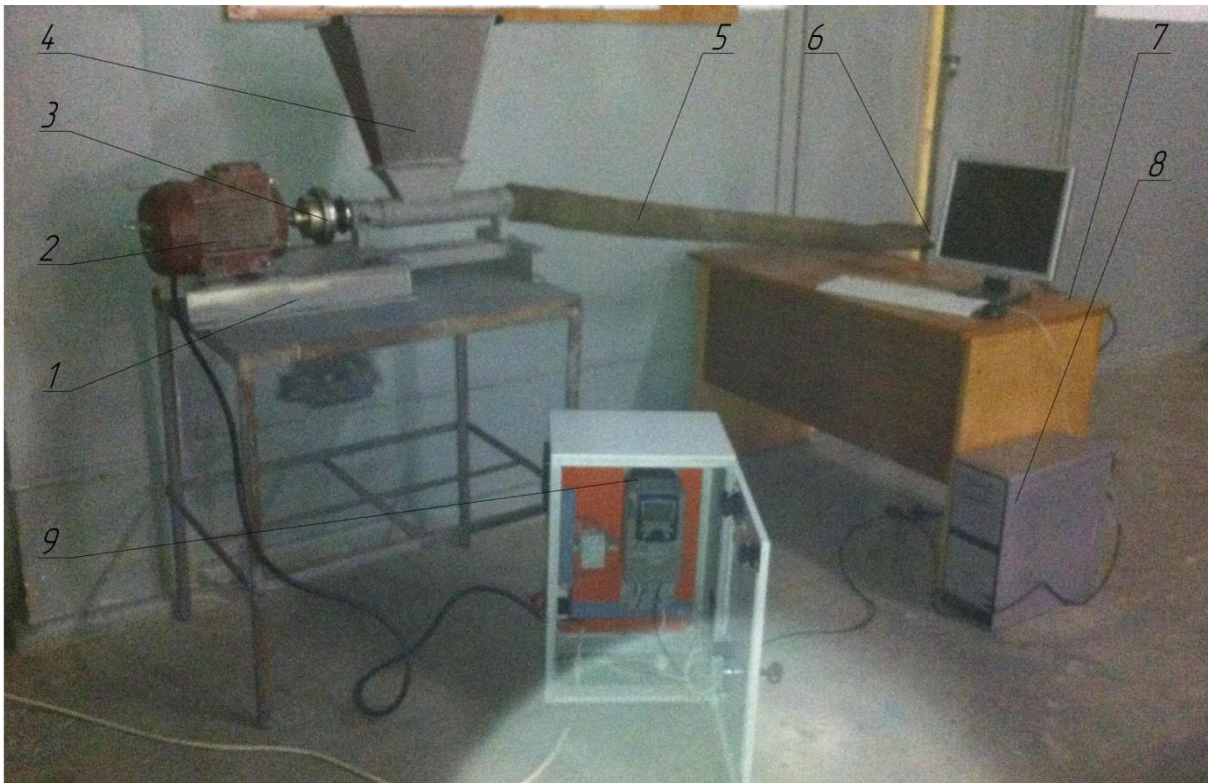


Рис. 8. Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження привода гвинтового конвеєра оснащеного пружно-запобіжною муфтою

Програмне забезпечення PowerSuite версії 2.3.0 дозволяє: вибрати тип пристрою, його схемну конфігурацію і ввести параметри двигуна; змінити налаштування параметрів (в т.ч. не маючи доступу до пристрою); перепризначити і сконфігурувати входи і виходи; переглянути та роздрукувати список параметрів, їх можливих і вибраних значень, а також значень за умовчанням; зберегти необмежену кількість конфігурацій параметрів на диску у вигляді файлу; передати налаштування в пристрій або отримати інформацію про поточні настройки від пристрою; управляти пристроєм від ПК за допомогою віртуальних кнопок, аналогічних кнопок на робочому терміналі; візуалізувати внутрішні змінні сигнали за допомогою віртуальних вимірювальних приладів або віртуального осцилографа; експортувати список налаштувань в інші програми; конвертувати файли налаштувань попередніх версій PowerSuite.

Панель управління (рис. 9) призначена для управління ПЧ в режимі Connected, а також для імітації управління в режимі Simulated. Після активізації панелі (перемикач Command) вона дозволяє задавати напрямок обертання (перемикач Rotation) і частоту (Frequency reference); давати команди Пуск (кнопка Test run) і Стоп (кнопка Test stop).

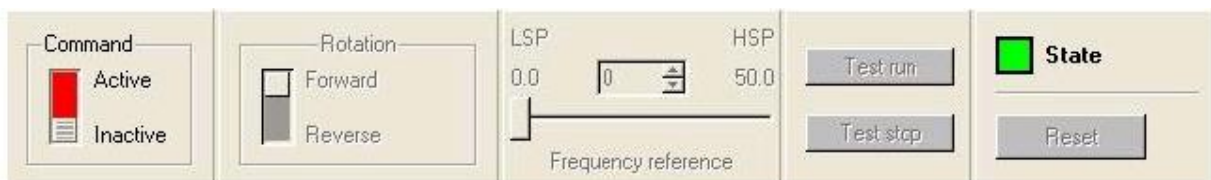


Рис. 9. Панель управління двигуном

Віртуальний осцилограф призначений для відображення станів ПЧ і його внутрішніх змінних у функції часу і в частотній області. Вікно осцилографа викликається з вікна конфігурації кнопкою Scope і воно фактично є одним з видів вікна конфігурації (рис. 10).

При його відкритті в головному меню з'являється меню Scope (1) і однойменна панель інструментів (2). У полі осцилографа (3) в осях X (6) і Y (5) будуються графіки. При бажанні в полі осцилографа можна вивести легенду (4). Легенда відображає зв'язок між сигналами, виведеними на осцилографі, їх назвами і кольоровим маркуванням. На панелі тригера (7) задаються режими роботи осцилографа, відображається стан осцилографа.

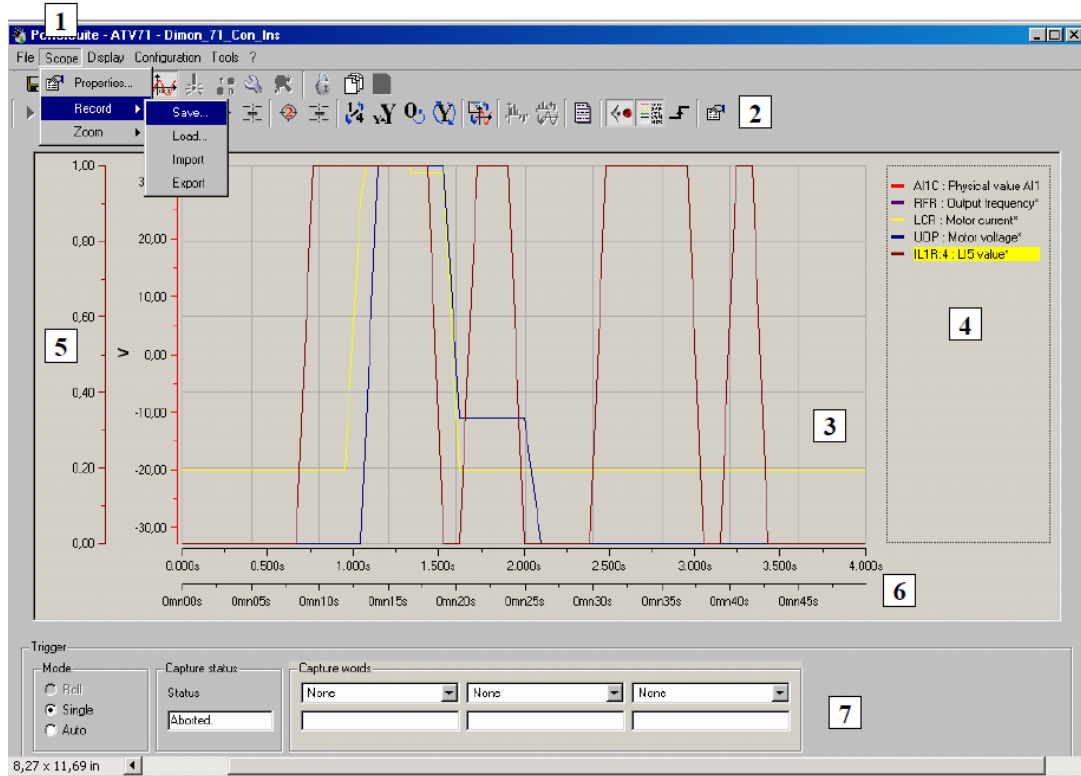


Рис. 10. Вікно осцилографа

Осцилограф має два типи вимірювань, які можна вибрати у вікні Mode опція Scope type: 1 вимір швидко мінливих в часі сигналів - Scope type = Fast score (швидкий осцилограф); 2 вимір повільно мінливих в часі сигналів - Scope type = Slow score (повільний осцилограф). Відмінності між ними полягають у наступному. Під час вимірювання в режимі Slow score осцилограф в режимі реального часу здійснює висновок вимірюваних (прийнятих від перетворювача) даних на екран. При цьому період часу між вимірюваннями великий (достатній для того, щоб встигнути здійснити обмін даними). У режимі Fast score дані спочатку записуються в пам'ять перетворювача, а потім передаються для відображення. Так само в групі параметрів Mode вибирається тип відображення сигналу в функції часу (Display type = Time) або залежність одного сигналу від іншого (Display type = XY).

Налаштування розгортки осцилографа здійснюється у групі параметрів Sampling. Для повільних процесів (Scope type = Slow score) задається: для режиму Sampling rate кількість точок (Nber of points) і відстань в часі між ними (Sampling rate); для режиму Time by division кількість точок (Nber of points) і ціну поділки (Time by division). Кількість точок для повільних процесів може бути вибрано в межах 10 ... 1000, крок за часом 0,1 ... 100 с. Установки для вимірювання швидких процесів (напр. пуско-гальмівні режими) аналогічні. Крок часу вибирається в межах 0,001 ... 1 с. Максимальна кількість вимірювань (точок), яке може бути записано в пам'ять перетворювача, становить 4000. Максимальна кількість вимірюваних сигналів у Scope може бути не більше 4, тому при знятті більше 1 сигналу кількість точок для одного сигналу пропорційно зменшується: 2 - 2000, 4 - 1000.

Висновок: Розроблене експериментальне обладнання для проведення досліджень приводів гвинтових конвеєрів, яке у повній мірі дозволяє провести експериментальні дослідження цих систем згідно розроблених інженерних методик, а використання ПЧ серії Altivar і ПК з програмним забезпеченням PowerSuite версії 2.3.0 дозволяє проводити ці дослідження з можливістю моделювання досліджуваних процесів в широких діапазонах з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження.

Інформаційні джерела

1. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.

2. Гевко І.Б., Вітровий А.О., Гурик О.Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Випуск 8.- Луцьк, 2001. Ст. 72-82.
3. Григорьев А. М. Гибкие шнеки / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К. : Знание, 1967. – 98 с.
4. Ловейкин В.С. Динамическая сила оптимизация подъемных машин [Текст] / В.С. Ловейкин, А.П. Нестеров – Луганск : Вид-во ЛНУ, 2002. – 387 с.
5. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2006. – 196 с.
6. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
7. Нагорняк С. Г. Предохранительные механизмы метало-обрабатывающего оборудования: Справочник / С. Г. Нагорняк, И. В. Луцив. – Киев : Техника, 1992. – 72 с.
8. Пилипець М. І. Обґрунтування нових типів гвинтових робочих органів сільськогосподарських машин / М. І. Пилипець, І. Б. Гевко // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – 2000. – Т. 9. – С. 254–257.
9. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с.

Луцив І.В., д.т.н., Гевко І.Б., д.т.н., проф., Гудь В.З., к.т.н., Дубиняк Т.С.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВОДОВ ВИНТОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

С целью повышения надежности функционирования винтовых конвейеров и защиты шнеков от поломок разработан целый ряд упруго-предохранительных муфт. Для определения их характеристик разработано и изготовлено экспериментальное оборудование. С его помощью можно проводить исследования с возможностью моделирования соответствующих процессов в широких диапазонах с высокой точностью в автоматизированном режиме управления с фиксацией необходимых результатов исследования.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, привод, винтовой конвейер, упруго-предохранительная муфта.

I. Lutsiv, I. Hevko, V. Hud, T. Dubynyak

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

EXPERIMENTAL RESEARCH EQUIPMENT LEADS SCREW CONVEYOR

To improve the reliability of screw conveyors and augers protection from breakage developed a range of preventive elastic couplings. To determine their characteristics developed and produced experimental equipment. Use it to research the possibility of modeling the processes involved in a wide range with high accuracy in automatic control mode of fixing the necessary research results.

Keywords: experimental study, drive, screw conveyor, elastic-overload clutch

СИНТЕЗ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕХАНІЗМІВ З РОЗШИРЕНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ЗМІШУВАННЯ

Приведена методика генерування конструкцій змішувачів з гвинтовими робочими органами синтезом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Розроблена модель механічної системи "гвинтовий змішувач" з групуванням конструктивних елементів за ієрархічними групами і віднесенням до першої групи механізми пересипу, гвинтові робочі органи та жолоби. Запропоновано спосіб структуризації конструкцій змішувачів з гвинтовими робочими органами і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Ключові слова: гвинтові робочі органи, змішувачі, синтез ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Постановка проблеми. Однією із передумов високої конкурентоздатності машинобудівних підприємств є подальше вдосконалення конструктивних параметрів машин, що сприяє зростанню продуктивності, підвищенню ефективності, покращенню якості виконуваних процесів та вимагає принципово нових підходів для створення і використання ресурсоощадних технічних систем.

Гвинтові конвеєри застосовуються у різних галузях народного господарства, зокрема в машинобудуванні для транспортування, змішування, подрібнення, сортування та виконання інших операцій.

Аналіз останніх досліджень. Створення нових конструкцій механізмів машин і втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях конструкторської підготовки виробництва присвячені праці Кузнецова Ю.М. [1], Половінкіна А.І. [2], Одріна В.М., Картавова С.С. [3] та багатьох інших. Однак цілий ряд питань пов'язаних з проектуванням гвинтових конвеєрів з розширеними можливостями потребують свого вирішення.

Метою даної роботи є синтез ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу гвинтових змішувачів.

Реалізація роботи. Важливим питанням проектування гвинтових змішувачів (ГЗ) є пошук їх удосконалених конструкцій для досягнення високих показників продуктивності і якості змішувальних операцій.

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій гвинтових змішувачів є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях конструкторської підготовки виробництва. Цього можна досягти при використанні морфологічного аналізу, який на четвертому етапі передбачає синтез варіантів об'єкта, що на основі складеної морфологічної матриці дає можливість отримати повну кількість рішень [1]:

$$N = \prod_{j=1}^n K_j, \quad (1)$$

де n – характеристика; K_j – число альтернатив характеристики.

Проте кількість отриманих варіантів у результаті такого синтезу є дуже значною, що утруднює пошук найбільш раціональних рішень. Тому доцільно скористатись методом синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Цей метод базується на морфологічному аналізі [1], проте він передбачає поділ механічної системи на певну кількість ієрархічних рівнів (як правило 3) з віднесенням до кожного окремих конструктивних елементів системи. Даний метод передбачає розчленування загальної задачі на часткові та проведення пошуку раціонального рішення у часткових областях пошуку з подальшим їх копонуванням. Так до першого ієрархічного рівня слід віднести ті конструктивні елементи механічної систем, які безпосередньо впливають на якість і продуктивність виконання технологічного процесу (елементи першого порядку). До другого ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, що допомагають реалізовувати функції відповідної механічної системи і мають опосередкований вплив на виконання технологічного процесу (елементи другого порядку). До третього ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, які є необхідні для роботи механічної системи, але не мають впливу на реалізацію технологічного процесу (елементи

третього порядку). Ці конструктивні елементи, при копонуванні механічної системи, слід вибирати в першу чергу виходячи із економічної доцільності (їх ціни та вартості експлуатації). Генеруванні альтернатив пропонуваним вдосконаленим методом передбачає проведення генерації альтернатив на окремих ієрархічних рівнях, або й у межах окремих конструктивних елементів, починаючи з вищих рівнів. На наступному етапі до вибраних на цих рівнях конструктивних рішень проводиться добір можливих альтернативних варіантів конструктивних елементів з нижчих рівнів, що забезпечує отримання найбільш раціональних конструктивних рішень при значно менших витратах зусиль та часу, ніж при використанні морфологічного аналізу. При використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу кількість варіантів визначатиметься по формулі:

$$N_{IT} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i, \quad (2)$$

z – ієрархічний рівень;

l – кількість ієрархічних рівнів;

K_i – альтернатива конструктивного елементу певного ієрархічного рівня;

m – кількість альтернатив конструктивного елементу певного ієрархічного рівня.

Розглянемо модель механічної системи «Гвинтових змішувач», зображену на рис. 1. Згідно запропонованого групування до першої ієрархічної групи слід віднести такі конструктивні елементи: 1 – жолоб; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – механізм пересипу; до другої ієрархічної групи: 4 – бункер; 5 – опорно-регулювальний механізм; до третьої ієрархічної групи: 6 – двигун-редуктор. Відповідно при кодуванні використаємо наступну схему кодів конструктивних елементів гвинтових змішувачів з використанням символу «і» (де «і» змінюється в межах від 1 до ∞): 1_i – жолоби; 2_i – гвинтові робочі органи; 3_i – механізми пересипу; 4_i – бункери; 5_i – опорно-регулювальні механізми; 6_i – двигун-редуктори. Якщо в конструкції міститься декілька ідентичних конструктивних елементів, то їх кількість доцільно записати відповідним степенем, наприклад: два гвинтових робочих органів - $(2_{12})^2$, а якщо міститься декілька різних конструктивних елементів одного виду, то їх доцільно записати наступним чином: два жолоби - $(1_7 \cup 1_{92})$.

В результаті генерування альтернатив конструкцій ГЗ, на першому ієрархічному рівні одержано такі альтернативи (рис. 2):

- для першого ієрархічного рівня: $(1)1_1$ - $(1)1_3$ (рис. 3); $(1)2_1$ - $(1)2_9$ (рис. 4); $(1)3_1$ - $(1)3_4$ (рис. 5);

- для другого ієрархічного рівня: $(2)4_1$ - $(2)4_4$; $(2)5_1$ - $(2)5_3$;

- для третього ієрархічного рівня: $(3)6_1$ - $(3)6_4$.

Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня представлені на рисунку 6.

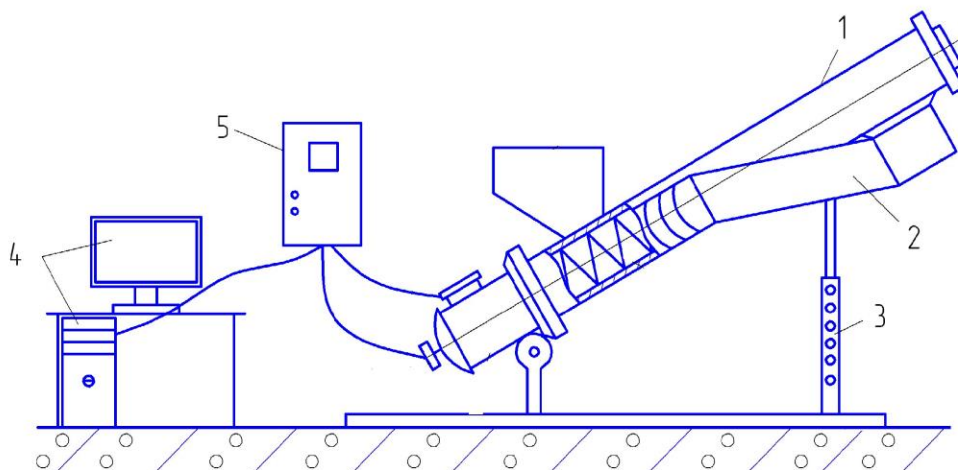


Рис. 1. Модель механічної системи «Гвинтових змішувач»: 1 – жолоб; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – механізм пересипу; 4 – бункер; 5 – опорно-регулювальний механізм; 6 – двигун-редуктор

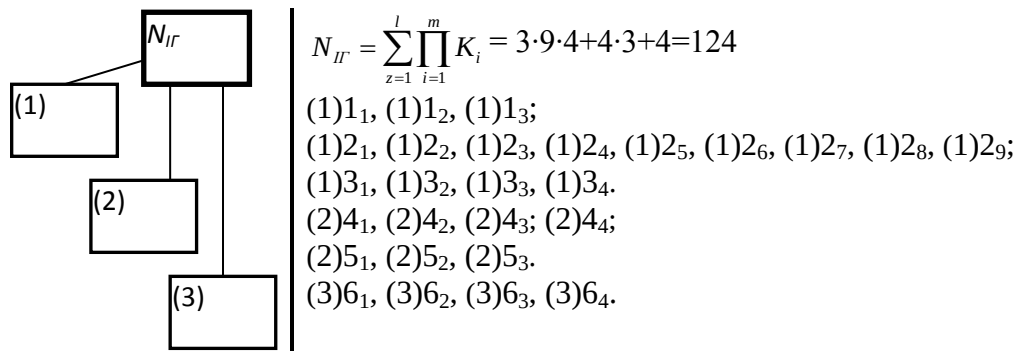


Рис. 2. Модель механічної системи «Гвинтових змішувач»: (1) – перший ієрархічний рівень; (2) - другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень

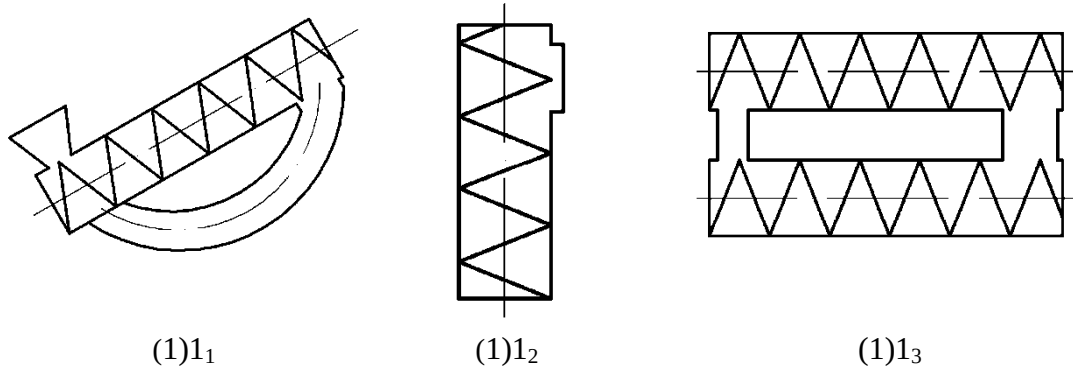


Рис. 3. Варіанти механізмів пересипу: (1)1₁ - розміщення під змінним кутом від 10° до 80°; (1)1₂ - вертикальне розміщення; (1)1₃ - горизонтальне розміщення

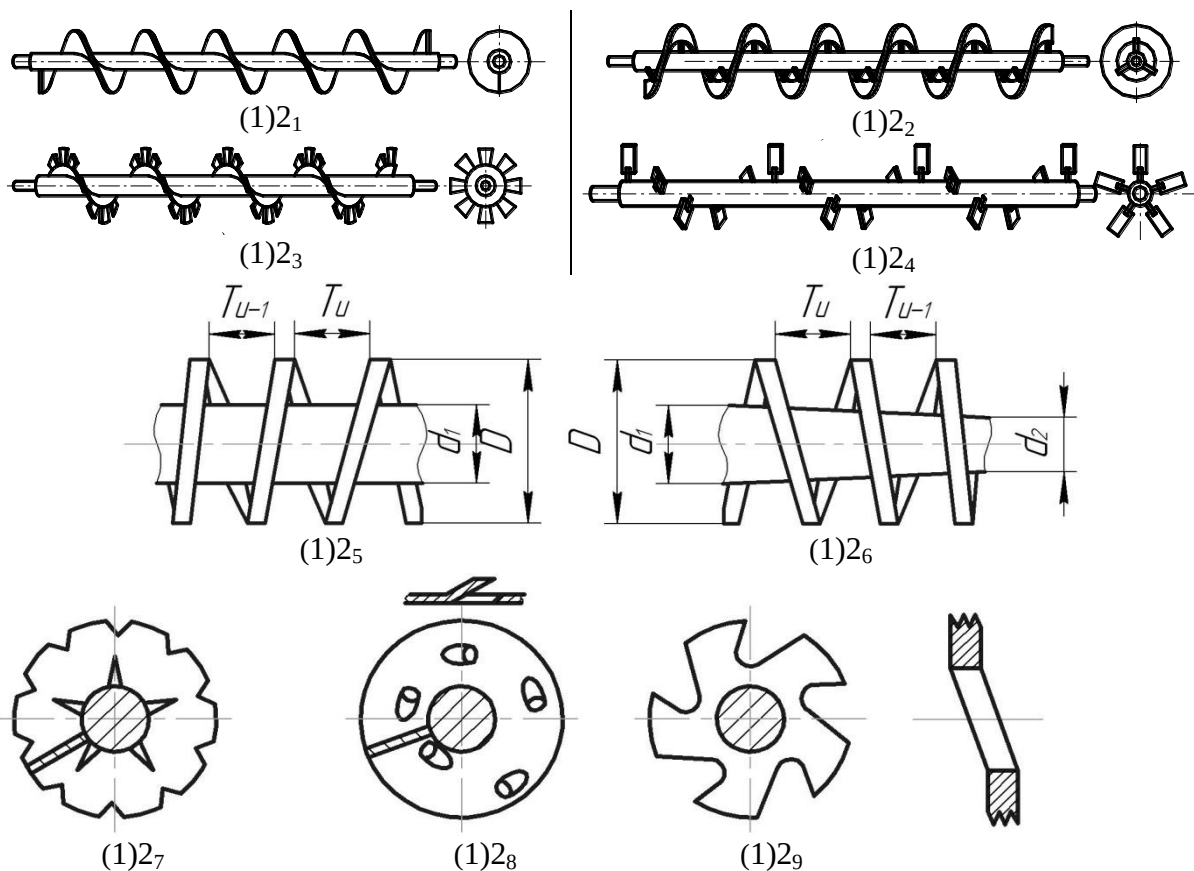


Рис. 4. Варіанти конструкції гвинтових робочих органів: (1)2₁ - суцільний гвинт; (1)2₂ - гвинт-змішувач з радіальними перемичками; (1)2₃ - стрічковий гвинт-змішувач; (1)2₄ - лопатевий гвинт-змішувач; (1)2₅ - циліндричний зі змінним кроком; (1)2₆ - циліндричний з конічним валом; (1)2₇ - профільний гвинт; (1)2₈ - гвинт-змішувач з внутрішніми отворами; (1)2₉ - конічний гвинт

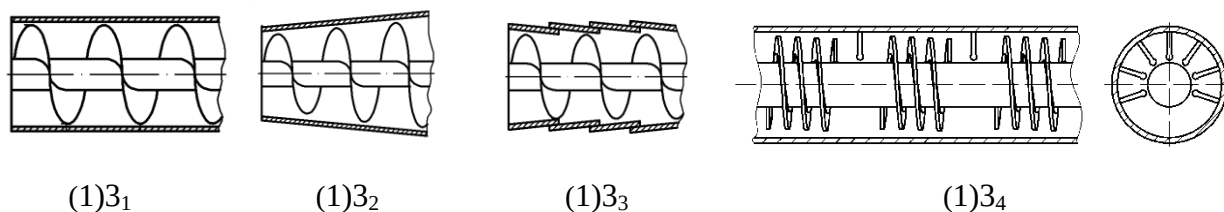


Рис. 5. Варіанти конструкцій жолобів: (1)З₁ – жолоб з постійними параметрами; (1)З₂ – конічний жолоб; (1)З₃ – витий жолоб; (1)З₄ – жолоб з радіальними перемичками

Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів ГЗ використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме:

$$N = \prod_{j=1}^n K_j = 5184 \text{ варіанти, що майже у 42 рази більше, ніж при використанні запропонованого}$$

методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу: $N_{II} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i = 124$.

Це вказує на доцільність використання запропонованого методу [4], що значно полегшує перебір альтернатив та пошук найкращих.

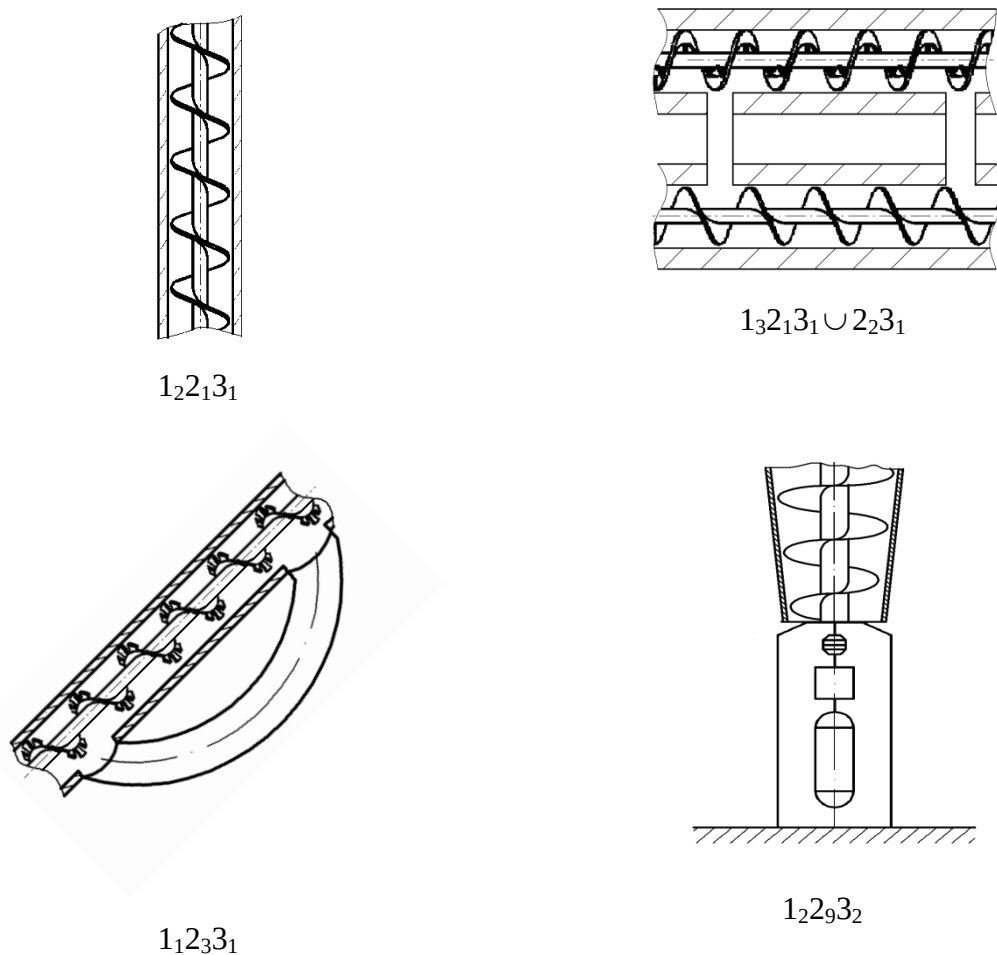


Рис. 6. Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня

В результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів пересипних механізмів з гвинтовими робочими органами (рис. 7), які захищені патентами України на винаходи.

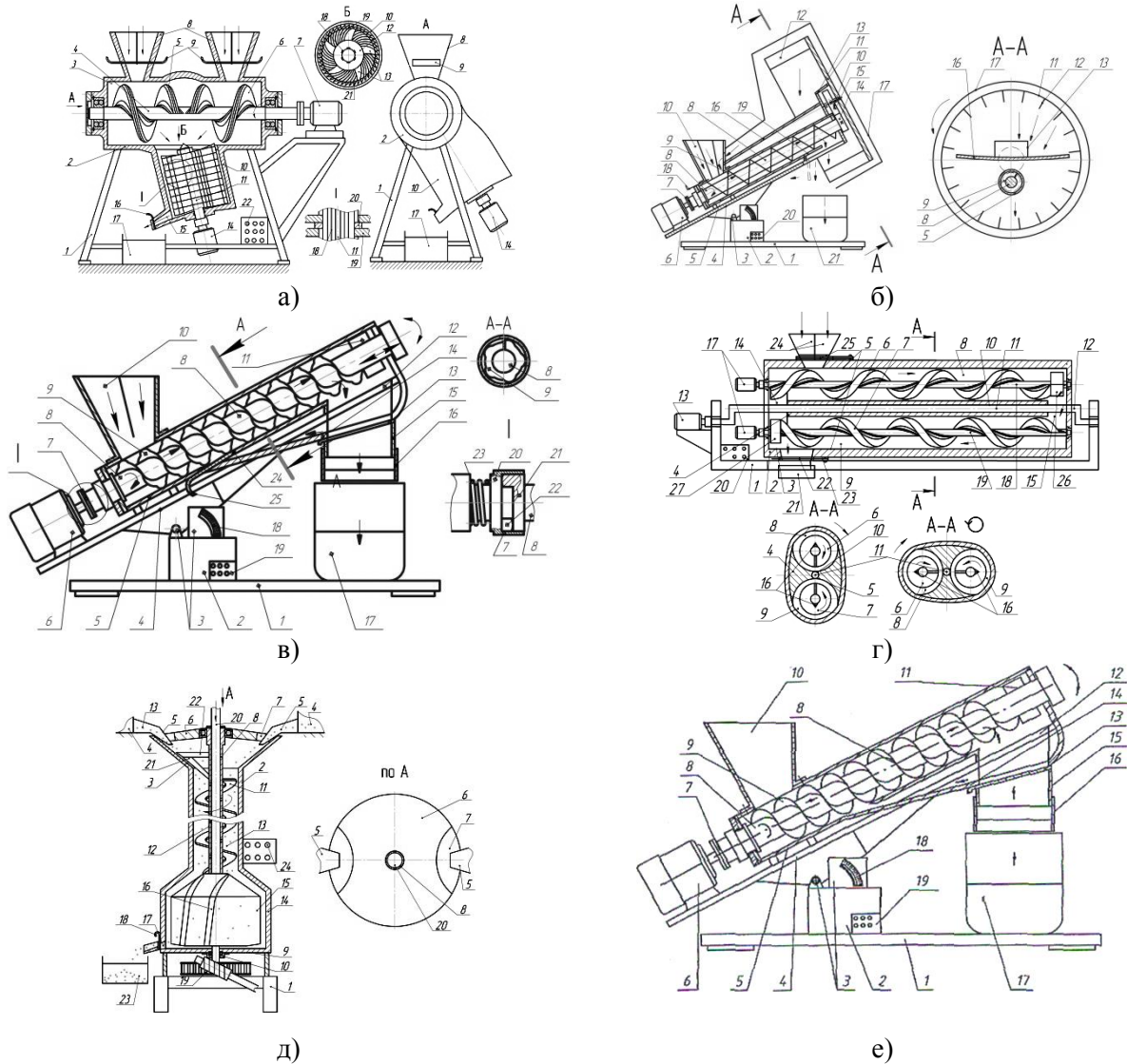


Рис. 7. Синтезовані конструкції змішувачів з гвинтовими робочими органами, захищених патентами України: а) д. п. України №63760; б) д. п. України №62656; в) д. п. України №62633; г) д. п. України №34406 і №62658; д) д. п. України №50935; е) д. п. України №34056

Висновок. Запропоновано спосіб структуризації конструкцій змішувачів з гвинтовими робочими органами і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Інформаційні джерела

1. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк – Київ-Тернопіль, 1997 – 310 с.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. [Текст] / А.И. Половинкин – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Одрин В.М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц [Текст] / В.М. Одрин, С.С. Картавов – К.: Наукова думка, 1977. – 183 с.
4. Пат. №63760 Україна, МПК В01F 7/24. Змішувач відцентровий / Любачівський Р.О.; заявник і власник патенту Любачівський Роман Орестович. – и 201101238; заявл. 25.10.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20.
5. Пат. №62656 Україна, МПК⁷ В01F 7/08. Змішувач гвинтовий з піднімально-пересипним механізмом / Любачівський Р.О., Дячун А.С., Гевко І.Б., Чвартацький Р.І.; заявник і власник патенту Любачівський Роман Орестович, Дячун Андрій Євгенович, Гевко Ігор Богданович, Чвартацький Роман Ігорович. – №и201101236; заявл. 04.02.11; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17.
6. Пат. №62633 Україна, МПК⁷ В01F 7/00. Змішувач гвинтовий вібраційний / Любачівський Р.О., Дячун А.С., Гевко І.Б., Комар Р.В., Диня І.І., Одендр В.М.; заявник і власник патенту Любачівський Роман Орестович, Дячун Андрій Євгенович, Гевко Ігор Богданович, Комар

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- Роман Васильович, Диня Іван Іванович, Одендр Володимир Михайлович. – №u201100256; заявл. 10.01.11; опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17.
7. Пат. №34406. Україна, МПК⁷ B01F 7/00. Змішувач гвинтовий з замкнутим циклом роботи / Гевко І.Б., Левенець В.Б., Гевко М.Р.; заявник і власник патенту Гевко Іван Богданович, Левенець Володимир Богданович, Гевко Мирослав Романович. – №u200803172; заявл.12.03.2008р.; опубл.11.08.2008, Бюл. №15.
8. Пат. №62658 Україна, МПК⁷ B01F 7/00. Універсальний гвинтовий змішувач / Любачівський Р. О.; заявник і власник патенту Любачівський Роман Орестович. – № u201101266; заявл. 10.01.11; опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17.
9. Пат. №50935 Україна, МПК B01F 7/00. Змішувач гвинтовий гравітаційний / Ляшук О.Л., Івасечко Р.Р., Гевко І.Б., Любачівський Р.О., Клендій О.М.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u200914011; заявл. 31.12.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
10. Пат. №34056 Україна, МПК⁷ B01F 7/00. Змішувач гвинтовий з пересипанням / Гевко І.Б., Левенець В.Б., Гевко М.Р.; заявник і власник патенту Гевко Іван Богданович, Левенець Володимир Богданович, Гевко Мирослав Романович. – № u200802639; заявл. 29.02.08; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.

Любачивский Р.О., Марунич О.П.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

СИНТЕЗ ВИНТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ С РАСШИРЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ СМЕШЕВАНИЯ

Приведена методика генерирования конструкций смесителей с винтовыми рабочими органами синтезом иерархических групп с помощью морфологического анализа. Разработана модель механической системы "винтовой смеситель" с группированием конструктивных элементов за иерархическими группами и отнесением к первой группе механизмы пересыпа, винтовые рабочие органы и желоба. Предложен способ структуризации конструкций смесителей с винтовыми рабочими органами и методика их совершенствования на основе исследования свойств элементов их структуры в соответствии с теорией синтеза иерархических групп с помощью морфологического анализа.

Ключевые слова: винтовые рабочие органы, смесители, синтез иерархических групп, с помощью морфологического анализа.

R.Liubachinsky, O.Marunich

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

SYNTHESIS OF SCREW TRANSPORT MECHANISMS WITH THE EXPANDED TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF MIXING

The technique of generating mixer designs with helical working organs is synthesized by synthesizing hierarchical groups using morphological analysis. A model of the mechanical system "screw mixer" has been developed with the grouping of structural elements behind hierarchical groups and referring to the first group the mechanisms of pouring, screw working organs and troughs. A method for structuring mixer designs with screw working bodies and a method for their improvement based on research of the properties of their structure elements in accordance with the theory of synthesis of hierarchical groups by means of morphological analysis are proposed.

Key words: screw working organs, mixers, synthesis of hierarchical groups, using morphological analysis.

СПЕЦІАЛЬНІ ЗАХОДИ УЗГОДЖЕННЯ, ЕКРАНУВАННЯ ТА ГАЛЬВАНІЧНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто спеціальні технічні заходи узгодження, екранування та гальванічної розв'язки ліній зв'язку в локальних мережах. Правильне з'єднання комп'ютерів електричним кабелем у комп'ютерних локальних мережах включає остаточне узгодження кабелю, гальванічну розв'язку комп'ютерів від мережі, заземлення кожного комп'ютера, заземлення екрану (якщо він є) в одній точці.

Екранування електричних ліній зв'язку застосовується для зниження впливу на кабель зовнішніх електромагнітних полів.

Ключові слова: комп'ютер, кабель узгодження, екранування, гальванічна розв'язка, мережа.

Постановка задачі. Електричні лінії зв'язку потребують застосування спеціальних заходів, без яких неможливе не тільки безпомилкове передавання даних, а й будь-яке функціонування мережі.

Предметом даної статті є задача правильного з'єднання комп'ютерів електричним кабелем яка має включати: остаточне узгодження кабелю; гальванічного розв'язку комп'ютерів від мережі; заземлення кожного комп'ютера; заземлення екрану (якщо він є) в одній точці.

Основна частина. Узгодження електричних ліній зв'язку здійснюється для забезпечення нормального проходження сигналу через довгий канал без спотворень і перекручувань.

Хвильовий опір – параметр даного типу кабелю – залежить від його характеристик (перетину кількості і форми провідників, матеріалу ізоляції тощо). Величина хвильового опору обов'язково зазначається в документації на кабель і становить, зазвичай, від 50-100 Ом для коаксіального кабелю до 100-150 Ом для витої пари або плоского багатопровідного кабелю. Точне значення хвильового опору можна легко виміряти за допомогою генератора імпульсів і осцилографа за відсутності перекручування форми переданого по кабелю імпульсу. Звичайно потрібно, щоб відхилення величини погоджувального резистора не перевищувало 5 – 10% у ту або іншу сторону [3].

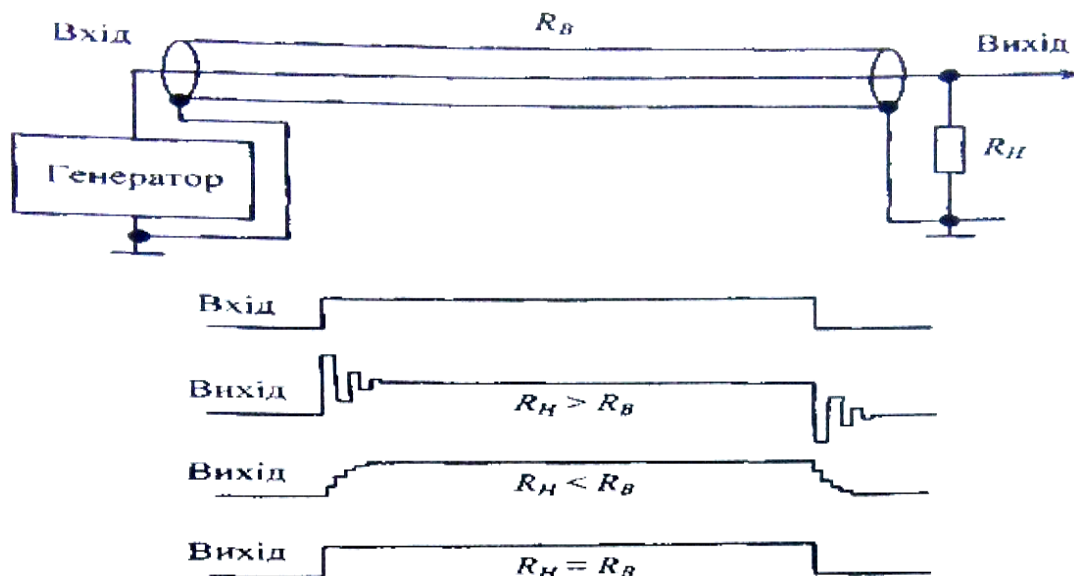


Рис. 1. Передавання сигналів по електричному кабелю

Якщо опір, що погоджує, R_H менший від хвильового опору кабелю R_B , то фронт переданого прямокутного імпульсу на приймальному кінці буде затягнутий, якщо ж R_H більше R_B , то на фронті буде коливальний процес (рис.1).

Треба сказати, що мережні адаптери, їх приймачі й передавачі спеціально розраховані на роботу з певним типом кабелю з відомим хвильовим опором. Тому навіть за ідеально

погодженого на кінцях кабелю, хвильовий опір якого істотно відрізняється від стандартного, мережа швидше за все не працюватиме або працюватиме зі збоями [2].

Тут також варто згадати про те, що сигнали з пологими фронтами передаються по довгому електричному кабелю краще, ніж сигнали з крутими фронтами, тобто їх форма менше спотворюється (рис.2). Це пов'язано з відмінностями величин згасання для різних частот (високі частоти згасають сильніше). Найменше спотворюється форма синусоїдального сигналу – такий сигнал просто зменшується за амплітудою. Тому для поліпшення якості передавання нерідко використовуються трапецієподібні або дзвоноподібні імпульси (рис. 3), близькі за формою до напівхвилі синусоїди, для чого штучно зтягуються або згладжуються фронти прямокутних сигналів.

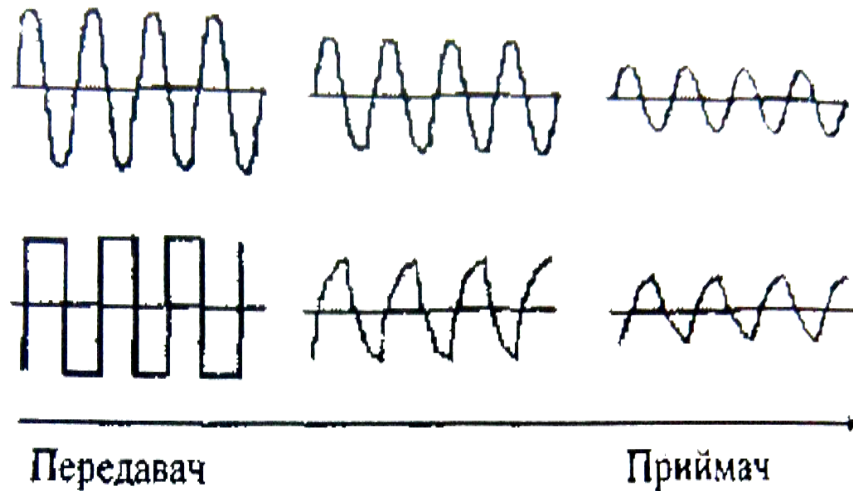


Рис. 2. Згасання сигналів у електричному кабелі



Рис. 3. Трапецієподібний і дзвоноподібний імпульси

Екранування електричних ліній зв'язку застосовується для зниження впливу на кабель зовнішніх електромагнітних полів. Екран являє собою мідну або алюмінієву оболонку (плетену або з фольги), в яку вкладають проводи кабелю. Для того щоб екранування працювало, екран обов'язково має бути заземленим – у такому разі наведені на нього струми стікають у землю. Екран помітно збільшує вартість кабелю, але водночас підвищує його механічну міцність.

Знизити вплив наведених перешкод можна і без екрана, якщо використовувати диференціальне передавання сигналу (рис. 4). У такому випадку передавання йде по двох проводах, обоє вони є сигналами. Передавач формує протифазні сигнали, а приймач реагує на різницю сигналів на обох проводах. Умовою узгодження є рівність опорів резисторів, що погоджують, половині хвильового опору кабелю. Якщо обидва проводи мають однакову довжину і прокладені поряд (в одному кабелі), то перешкоди діють на обидва проводи приблизно однаково, і різницевий сигнал між проводами практично не спотворюється. Саме таке диференціальне передавання застосовується зазвичай у кабелях із витих пар. Але екранування й у такому разі істотно поліпшує завадостійкість.

Необхідно гальванічна розв'язка комп'ютерів від мережі при використанні електричного кабелю. Річ у тім, що по електричних кабелях (як по сигнальних проводах, так і через екран) можуть проходити не тільки інформаційні сигнали, а й так званий вирівнюючий струм який виникає внаслідок не ідеальності заземлення комп'ютерів. Коли комп'ютер не заземлено, то на його корпусі утворюється наведений потенціал приблизно 110 В змінного струму (половина живильної напруги). Його можна відчути на собі, якщо одною рукою взятися а корпус комп'ютера, а другою – за батарею центрального опалення або за який – небусть заземлений прилад [5].

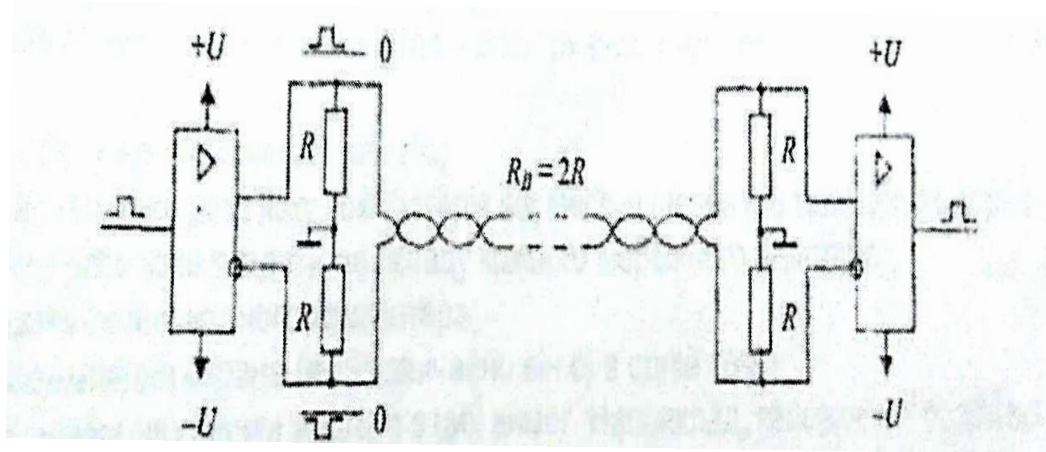


Рис. 4. Диференціальне передавання сигналів через виту пару

За автономної роботи комп'ютера (наприклад, удома) відсутність заземлення, як правило, не має серйозного впливу на його функціонування. Щоправда, іноді можна збільшитися на кількість збоїв у роботі комп'ютера. Але у разі з'єднання кількох територіально розосереджених комп'ютерів електричним кабелем заземлення стає серйознішою проблемою. Якщо один із комп'ютерів, що з'єднується, заземлено а інший – ні, то можливий навіть повний вихід з ладу одного з них або обох.

Тому комп'ютери вкрай бажано заземлювати. За використанням триконтактних вилок і розеток, у яких є нульовий провід, це здійснюється автоматично. Використовуючи двоконтактну вилку і розетку необхідно вживати спеціальні заходи, організовувати заземлення окремим проводом великого перетину. Зазначимо, що при наявності трифазної мережі бажано забезпечити живлення всіх комп'ютерів від однієї фази [1].

Проблема ускладнюється ще й тим, що "земля", до якої приєднують комп'ютери зазвичай далека від ідеалу. В ідеалі заземлюючі проводи комп'ютерів мають збігатися в одній точці, з'єднаній короткою масивною шиною із заритим у землю масивним провідником. Така ситуація можлива тільки тоді, коли комп'ютери не занадто розосереджені, а заземлення зроблено справді правильно. Проте, як правило, заземлювальна шина має значну довжину, у результаті чого струми, які по ній стікають, утворюють значну різницю потенціалів між її окремими точками. Особливо велика ця різниця у разі підключення до шин потужних і високочастотних споживачів енергії.

Тому навіть приєднані до тієї самої шини, але в різних точках, комп'ютери мають на своїх корпусах різні потенціали (рис. 5). У результаті по електричному кабелю, що з'єднує комп'ютери, тече вирівнюючий струм, (змінний з високочастотними складовими). Ситуація погіршується, коли комп'ютери підключаються до різних шин заземлення. Вирівнюючий струм може досягати в такому разі величини кількох ампер. Зрозуміло, що подібні струми дуже небезпечні для вузлів комп'ютера. У будь – якому разі вирівнюючий струм, істотно впливає на переданий сигнал, іноді цілком спотворюючи його. Навіть тоді, коли сигнали передаються без участі екрана (наприклад, по двох проводах, укладених в екрані), вирівнюючий струм внаслідок індуктивної дії заважає передаванню інформації. Саме тому екран завжди має бути заземленим тільки в одній точці [5].

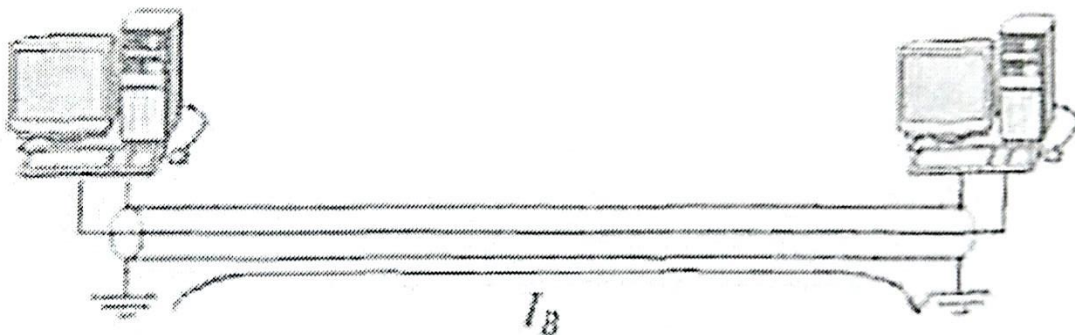


Рис. 5. Вирівнюючий струм за відсутності гальванічної розв'язки

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Гальванічна розв'язка мережних адаптерів часто розраховується на допустиму напругу ізоляції усього лише 100 В, що за відсутності заземлення одного з комп'ютерів може легко вивести з ладу його адаптер.

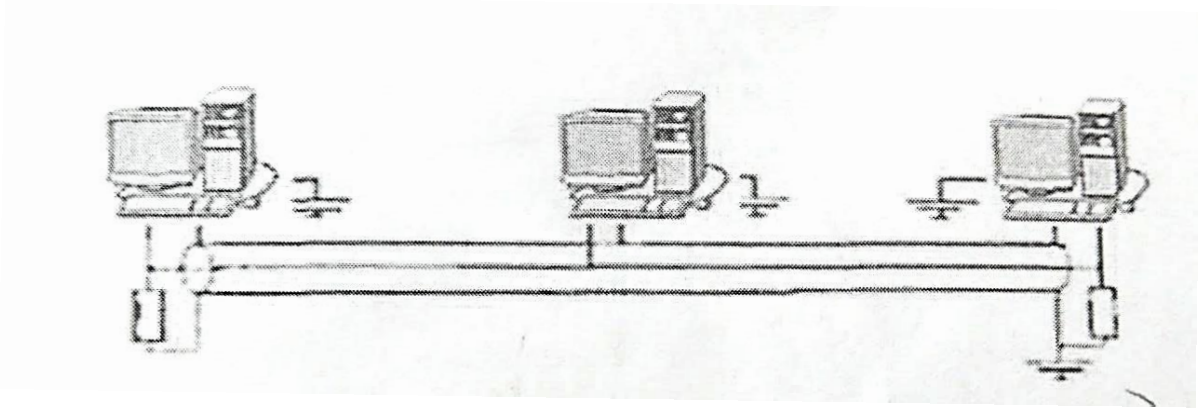


Рис. 6. Правильне з'єднання комп'ютерів мережі
(гальванічна розв'язка умовно показана у вигляді прямокутника)

Зазначимо, що для приєднання коаксіального кабелю зазвичай застосовують роз'єми в металевому корпусі. Цей корпус не повинний з'єднуватись ні з корпусом комп'ютера, ні з “землею” (на платі адаптера він установлений із пластиковою ізоляцією від кріпильної планки). Заземлення екрана кабелю мережі краще робити не через корпус комп'ютера, а окремим спеціальним проводом, що забезпечує кращу надійність. Пластмасові корпуси роз'ємів RJ-45 для кабелів з неекранованими витими парами знімають цю проблему [6].

У разі заземлення екрана в одній точці він стає штировою антеною із заземленою основою і може підсилювати високочастотні перешкоди на кількох частотах, кратних його довжині. Для зменшення цього “антенного” ефекту використовують заземлення щодо високих частот у багатьох точках, тобто в одній точці екран з'єднується з “землею” накоротко, а в інших точках – через високовольтні керамічні конденсатори. У найпростішому випадку на одному кінці кабелю екран з'єднується з землею безпосередньо, на іншому кінці – через ємність [7].

Висновок. Правильне з'єднання комп'ютерів електричним кабелем обов'язково має включати (рис. 6):

- остаточне узгодження кабелю;
- гальванічну розв'язку комп'ютерів від мережі (зазвичай трансформаторна гальванічна розв'язка входить до складу кожного мережевого адаптера);
- заземлення кожного комп'ютера;
- заземлення екрана (якщо звичайно він є) в одній точці.

Інформаційні джерела

1. Бондаренко М.Ф. Проектирование и диагностика компьютерных систем и сетей: Учеб. пособие/ Бондаренко М.Ф., Кривуля Г.Ф., Рябцев В.Г. -К.: НМЦ ВО, 2000.- 306с.
2. Кулаков Ю.О. Комп'ютерні мережі. підручник /Ю.О. Кулаков, Г.М. Луцький.- К.:Видавництво «Юніор», 2005.- 400с.
3. Вишенський В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей /- В.М. Вишенський - М.:Техносфера, 2003.-512с.
4. Жуков І.А. Комп'ютерні мережі та технології: навч. посібник / Жуков І.А., Гуменюк В.О., Альтмат І.Є.-К: НАУ, 2004.-276с.
5. Кульгин М. Практика построения компьютерных сетей/ М. Кульгин - СПб.:Питер, 2001.- 320с.
- 6.Рябенський В.М., Цифрова схемотехніка:навчальний посібник/ Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.-Львів:Новий світ-2000,2009/-736с.
7. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем / Бойко В.І., Гуржій А.М, Жуйков В.Я., та ін..- К.:Вища школа,2004/-399с.

Марчук В.И., д.т.н., Караченцев В.Е.

Луцкий национальный технический университет

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРЫ СОГЛАСОВАНИЯ, ЭКРАНИРОВАНИЕ И
ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ ЛИНИЙ СВЯЗИ В ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Рассмотрены специальные технические мероприятия согласования, экранирование и гальванической развязки линий связи в локальных сетях. Правильное соединение компьютеров электрическим кабелем в компьютерных локальных сетях включая окончательное согласование кабеля гальваническую развязку компьютеров от сети, заземление каждого компьютера, заземления экрана (если он есть) в одной точке.

Экранирование электрических линий связи применяется для снижения влияния на кабель внешних электромагнитных полей.

Ключевые слова: компьютер, кабель согласования, экранирование, гальваническая развязка, сеть.

V. Marchuk, V. Karachentsev

Lutsk national university of technology

**SPECIAL EVENTS COORDINATION, SCREENING AND GALVANIC ISOLATION
LINES IN LOCAL NETWORKS**

Consider special technical harmonization measures, screening and galvanic isolation lines in local networks. Proper electrical cable connecting computers in a computer local networks include the finalization cable galvanic isolation of computers on the network, each computer grounding, grounding the screen (if available) at one point.

Screening electric lines used to reduce the impact on the cable of external electromagnetic fields.

Keywords: computer, cable matching, screening, galvanic isolation, network.

КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ШЛІФУВАННЯ НА БЕЗЦЕНТРОВО-ШЛІФУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В роботі розглядається методика розрахунку теплонапруженості в зоні шліфування поверхонь обертання переривчастими шліфувальними кругами. Сформовані умови зниження температури шляхом зміни технологічних чинників шліфувальної операції. Встановлено взаємозв'язки між режимами шліфування конструктивними особливостями шліфувального інструменту та температурними параметрами шліфувальної операції.

Ключові слова: *спадковість, температура, швидкість, тертя.*

Розрахунок коефіцієнта теплообміну для умов переривчастого шліфування за умов використання ЗОР.

При шліфуванні переривчастим інструментом з подачею ЗОР зниження температури під час проходження над оброблюваною поверхнею інструменту залежить від впливу охолоджувального середовища, що визначається коефіцієнтом теплообміну α . Під час різання, охолодження поверхні заготовки здійснюється конвективним теплообміном. Відповідно до закону Ньютона-Ріхмана кількість тепла, що передається від обробленої поверхні до ЗОР визначається за формулою:

$$Q = \alpha \cdot S(t_s - t_p) \cdot \tau, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі; t_s – температура поверхні деталі; t_p – температура рідини; τ – час виконання технологічної операції.

Чим більший коефіцієнт тепловіддачі, тим краще ЗОР відводить тепло від різального інструменту, стружки та деталі. Тепловідведення під час різання відбувається внаслідок конвекції, теплопровідності випромінювання і хімічних реакцій, що відбуваються з поглинанням тепла, тобто процесів, що супроводжуються складним теплообміном. Конвективний теплообмін при охолодженні ЗОР можна розглядати як теплообмін, пов'язаний з рухом рідини та теплопровідністю. Визначення коефіцієнта теплообміну є одним з найважливіших параметрів розрахунку температурних полів. Конвективний теплообмін між рідиною та поверхнею твердого тіла визначається за критерієм Нуссельта, який представляє собою безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі:

$$N_\alpha = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (2)$$

де d – діаметр сопла на виході ЗОР, м; α – коефіцієнт теплопровідності; λ – теплопровідність рідини, Вт/м·°С.

В процесі тепловіддачі в умовах вимушеного руху рідини по всій поверхні теплообміну без фазових і хімічних перетворень критерій Нуссельта є функцією критеріїв Прандтля і Рейнольдса:

$$N_\alpha = f(P_\tau, P_e). \quad (3)$$

Вигляд даної функціональної залежності після наближених емпіричних розрахунків у випадку, коли поверхня заготовки омивається турбулентним потоком, має вигляд:

$$\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \left(\frac{V_{\text{вум}} \cdot d}{g} \right)^{0.8} \cdot \left(\frac{g}{a} \right)^{0.4} \cdot 0,086, \quad (4)$$

де $P_\tau = \frac{g}{a} = \frac{g \cdot \rho}{c}$ – критерій Прандтля; $P_e = \frac{V_{\text{вум}} \cdot d}{g}$ – критерій Рейнольдса; g – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с; $a = c / \rho$ – коефіцієнт теплопровідності, м²/с; ρ – густина рідини, кг/м³; c – питома теплоємність, Дж/кг·°С.

Величина коефіцієнта теплообміну для ЗОР (водний розчин – 1% соди, 0,25÷0,45% нітриту натрію + вода) при теплопровідності $\lambda = 0,568$ Вт/м·°С, кінематичній в'язкості $g = 1,105 \cdot 10^{-6}$ м²/с, теплопровідності $a = 1,36 \cdot 10^2$ м²/с дорівнює:

$$\alpha \approx 5,2 \cdot 10^4 \nu_{\text{вир}}^{0.8} \text{ (Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}. \quad (5)$$

Аналіз виразів (1) і (5) показує, що кількість тепла, яке віддається оброблюваною поверхнею в ЗОР, залежить від часу охолодження та швидкості омивання поверхні заготовки турбулентним потоком, що дозволяє зменшити нагрівання поверхні в зоні різання. Таким чином, можна вважати, що швидкість витікання ЗОР та її руху по поверхні заготовки є показником оцінки ефективності методу безцентрового переривчастого шліфування.

Розрахунок температури безцентрового шліфування переривчастими шліфувальними кругами:

Враховуючи складний характер зв'язку приведенного показника температури ω з глибиною шліфування t та швидкістю деталі V_d , виконаємо відповідно до залежності $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t := \frac{\lambda \cdot \omega}{c \cdot \rho \cdot l_2} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}} \cdot \omega}{l_2 \cdot \bar{l}_1}}$

кількісну оцінку впливу глибини шліфування t на основні параметри теплового процесу. Під час розрахунку використовуємо вихідні дані: $c = 175,9 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$; $\rho = 15 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 50 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$; $2R_{\text{кр}} = 0,25 \text{ м}$; $V_d = 600 \text{ мм/хв}$.

В табл. 1. наведені значення безрозмірної величини $\bar{l}_1$, розраховані згідно залежності: $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t := \frac{\lambda \cdot \omega}{c \cdot \rho \cdot l_2} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}} \cdot \omega}{l_2 \cdot \bar{l}_1}}$, і значення приведенного показника температури ω , розрахованого згідно до залежності: $\bar{l}_1 = -\ln((1 - \omega) + \omega)$

Таблиця 1

Розрахункові значення параметрів $\bar{l}_1$; ω ; l_2 ; $l_1 = t$; l_2/l_1 ; Q_1/Q ; Q_2/Q ; Q_2/Q_1

$t \cdot 10^{-3}, \text{м}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
$\bar{l}_1$	0,0042	0,012	0,022	0,034	0,047
ω	0,09	0,15	0,19	0,24	0,27
$l_2 \cdot 10^{-3}, \text{м}$	0,426	0,5	0,52	0,57	0,57
$l_1 \cdot 10^{-3}, \text{м}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
l_2/l_1	21,3	12,5	8,7	7,1	5,7
Q_1/Q	0,05	0,1	0,13	0,17	0,19
Q_2/Q	0,95	0,9	0,87	0,83	0,81
Q_2/Q_1	19	9	6,7	4,9	4,3

Як видно з табл. 1, зі збільшенням глибини шліфування t безрозмірна величина $\bar{l}_1$ і приведений показник температури ω збільшуються. Відповідно будуть збільшуватися й абсолютні значення температури шліфування θ , що визначається залежністю (2). В табл.1 наведені значення довжини l_2 , розраховані згідно залежності (3) з урахуванням встановлених за залежністю значень:

$$V_{\text{різ}} = \frac{Q_{\text{нум}}}{\sqrt{2 \cdot t \cdot R_{\text{кр}}}} = V_d \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}} \text{ швидкості переміщення теплового потоку } V_{\text{різ}}. \text{ Справедливим}$$

буде висновок, що довжина l_2 зі збільшенням глибини шліфування t збільшується і приймає значення, яке суттєво перевищує $l_1 = t$, однак слід відмітити, що інтенсивність збільшення довжини l_2 зі збільшенням глибини шліфування t незначна. Отже зі збільшенням глибини шліфування t в 5 раз (з 40 до 200 мкм) довжина l_2 збільшилась тільки в 1,34 рази. Це важливий результат, який вказує на те, що за рахунок зменшення глибини шліфування t складно досягнути зменшення довжини l_2 .

В табл. 2 для порівняння наведені розрахункові значення основних параметрів теплового процесу під час шліфування для різних значень швидкості деталі V_d , тут глибина шліфування прийнята постійною і дорівнює $t = 0,002 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ та $l_1 = t = 0,002 \cdot 10^{-3}$ відповідно.

Розрахункові значення параметрів $\bar{l}_1$; ω ; l_2 ; $l_1 = t$; l_2/l_1 ; Q_1/Q ; Q_2/Q ; Q_2/Q_1

V_d , м/хв	30	60	90	120	150
$\bar{l}_1$	0,0042	0,0084	0,0126	0,0168	0,021
ω	0,09	0,125	0,15	0,17	0,185
$l_2 \cdot 10^{-3}$, м	0,426	0,3	0,24	0,2	0,175
l_2/l_1	21,3	15	12	10	8,75
Q_1/Q	0,05	0,09	0,1	0,12	0,13
Q_2/Q	0,95	0,91	0,9	0,88	0,87
Q_2/Q_1	19	1,01	9	7,3	6,7

Знаючи приведений показник температури ω , визначений за допомогою (2), можна визначити значення кількості тепла Q_1/Q і Q_2/Q , яке йде в утворену стружку та в поверхневий шар заготовки кільця відповідно. В табл. 3.1 наведені розрахункові значення Q_1/Q ; Q_2/Q ; Q_2/Q_1 . Зі збільшенням глибини шліфування t кількість тепла Q_1/Q , що йде в утворену стружку, збільшується, а кількість тепла Q_2/Q , що йде в заготовку кільця, зменшується. Причому, кількість тепла, яке йде в заготовку, суттєво перевищує кількість тепла, що йде в утворену стружку. Відношення Q_2/Q_1 зі збільшенням глибини шліфування t зменшується, однак за такої умови приймає більші значення. Цим, можна пояснити, чому довжина l_2 значно більша довжини $l_1 = t$. На рис. 4 та рис. 5 графічно показано характер зміни параметрів, наведених в табл. 1, зі зміною глибини шліфування t .

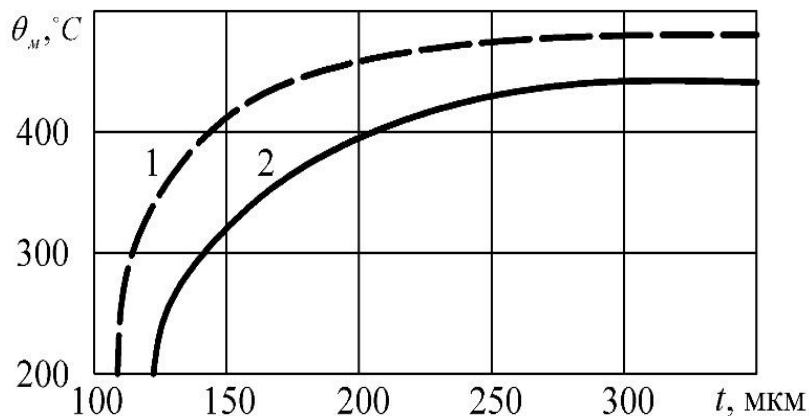


Рис. 1. Температурні залежності під час шліфування кілець із сталі ШХ15 на верстаті SASL5AD (1 – суцільним кругом; 2 – переривчастим кругом)

Як слідує з табл. 2, зі збільшенням швидкості деталі V_d безрозмірна величина $\bar{l}_1$ і приведений показник температури ω збільшуються, але з меншою інтенсивністю, ніж від збільшення глибини шліфування t (табл. 1).

Довжина адіабатичного сегмента l_2 в якому концентрується тепло, зменшується зі збільшенням швидкості деталі V_d . Як видно з табл. 1, зі збільшенням глибини шліфування t , довжина адіабатичного сегмента l_2 збільшується. Відповідно, за рахунок збільшення швидкості деталі V_d можна зменшити довжину l_2 , тобто товщину поверхневого шару обробленої деталі, в якому концентрується тепло і який є потенційним джерелом утворення температурних дефектів на обробленій поверхні.

Як слідує з табл. 2, швидкість деталі V_d в порівнянні з глибиною шліфування t (табл. 1) значно менше впливає на зменшення кількості тепла Q_2/Q , що йде в заготовку. В даному випадку фактично все тепло, яке утворюється під час шліфування йде в заготовку.

На рис. 3. показано характер зміни параметрів, які наведені в табл. 2 зі зміною швидкості деталі V_d . Отже, збільшення V_d дозволяє, разом зі збільшенням температури шліфування (параметрів ω

і θ), зменшувати товщину дефектного шару обробленої деталі l_2 .

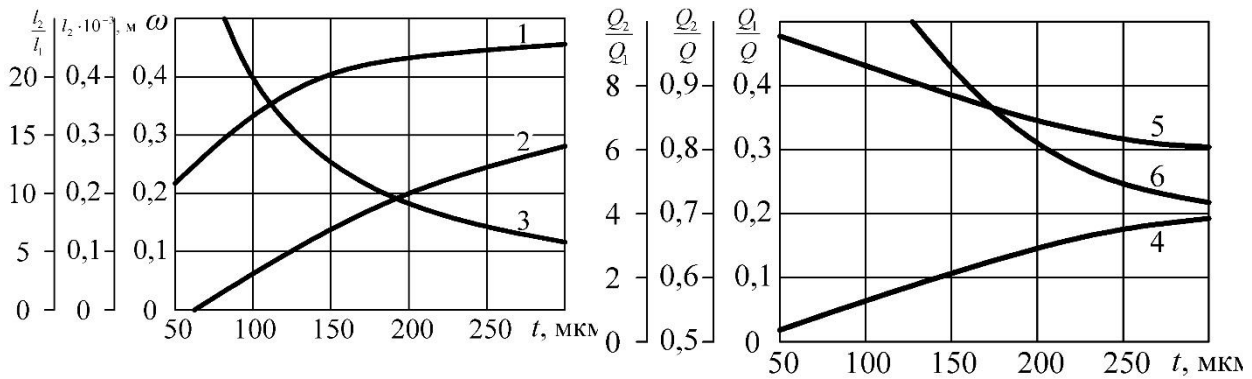


Рис. 2. Залежності параметрів $l_2(1)$; $\omega(2)$; $l_2/l_1(3)$; $Q_1/Q(4)$; $Q_2/Q(5)$; $Q_2/Q_1(6)$ від глибини шліфування t

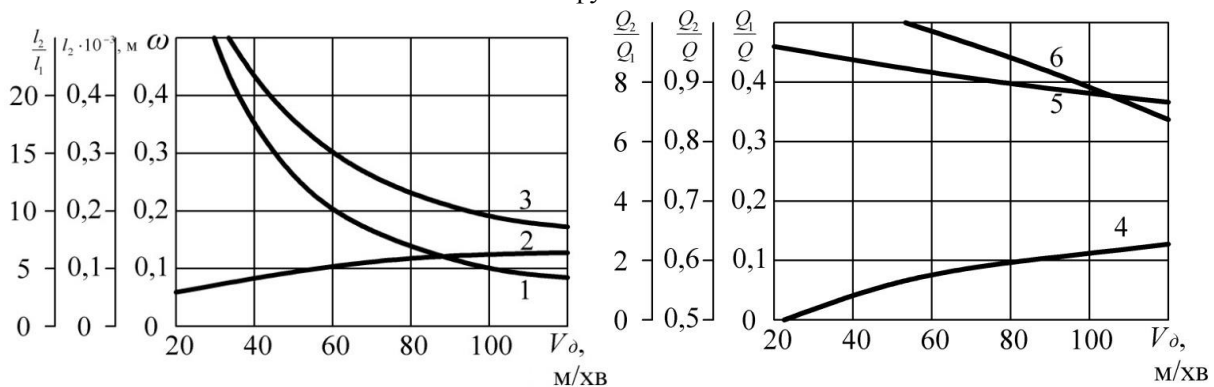


Рис. 3. Залежності параметрів $l_2(1)$; $\omega(2)$; $l_2/l_1(3)$; $Q_1/Q(4)$; $Q_2/Q(5)$; $Q_2/Q_1(6)$ від швидкості деталі V_d

На графіках показано, що збільшення V_d дозволяє, разом зі збільшенням температури шліфування (параметрів ω і θ), зменшувати товщину дефектного шару деталей l_2 .

Основні умови зниження температури під час переривчатого шліфування поверхонь обертання кілець:

В загальному випадку температура шліфування θ визначається залежністю (2), 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 :

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

де σ_{cm} межа міцності оброблюваного матеріалу на стиснення, $\text{H}/\text{м}^2$; $K_{piz} = P_z/P_y$ — коефіцієнт різання; P_z, P_y — тангенціальна і радіальна складові сили різання, H ; пов'язані з підвищенням ріжучої здатності шліфувального круга за рахунок збільшення коефіцієнта різання K_{piz} .

Даний коефіцієнт залежить від наступних чинників: 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 приведений показник температури ω у відповідності з залежністю:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{num} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} \bar{l}_1$$

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

Як бачимо, зменшення параметра ω припускає зменшення безрозмірної величини $\bar{l}_1$. Це

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

означає, що безрозмірна величина $\bar{l}_1$ тим менша, чим менша питома продуктивність оброблення $Q_{\text{пит}}$ 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 $Q_{\text{пит}}$.

В загальному випадкуведений показник температури ω залежить від часу τ і швидкості переміщення теплового потоку $V_{\text{різ}}$, згідно залежності (2). Тому для заданої швидкості $V_{\text{різ}}$ 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.

На основі проведеного аналізу сформульовано основні умови зменшення температури шліфування θ (рис. 4).

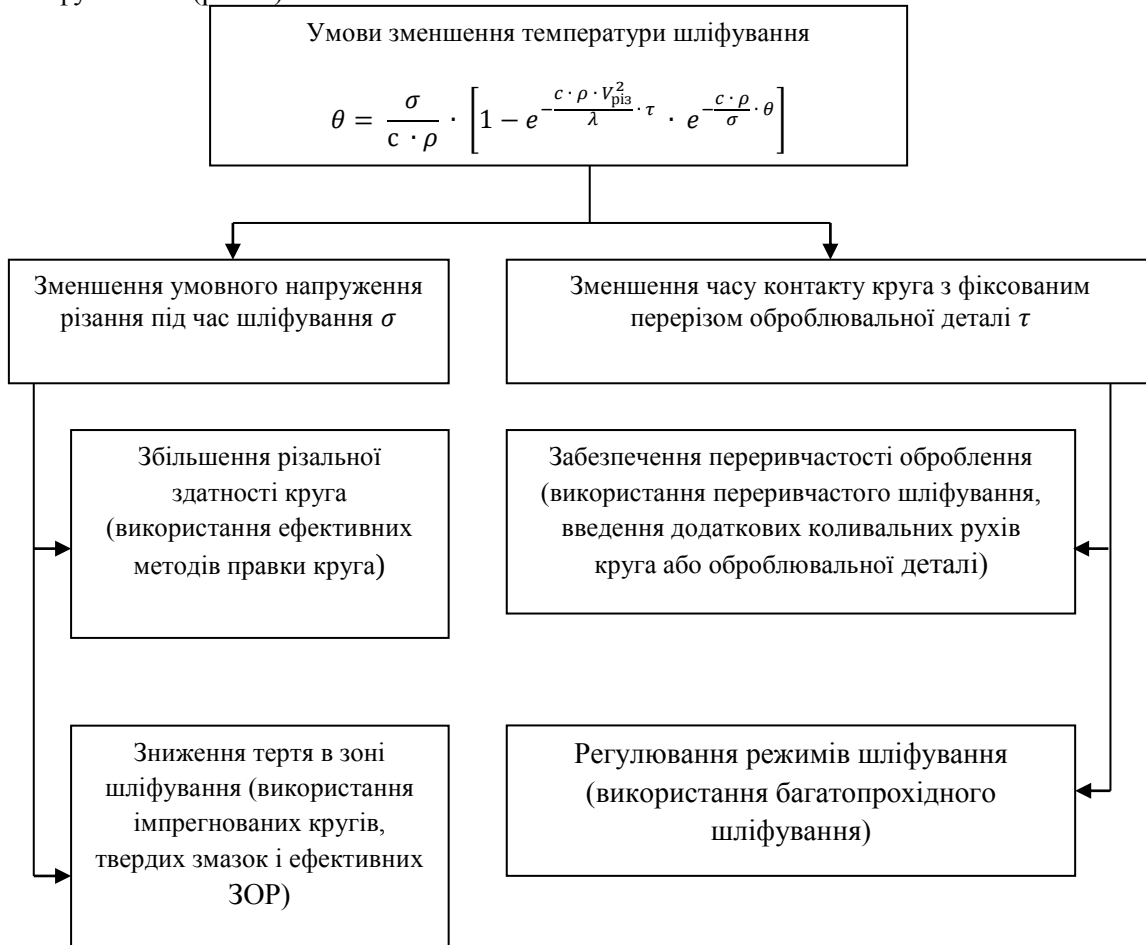


Рис. 4. Шляхи зменшення температури під час переривчастого шліфування

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 .

Висновки: Проведена кількісна оцінка впливу глибини шліфування та швидкості деталі на основні параметри теплового процесу під час безцентрового шліфування зовнішніх поверхонь обертання кілець роликотішлипників. Встановлено, що зі збільшенням глибини шліфування приведенний показник температури ω збільшується. Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання деталі приведенний 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. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А.А. Маталин. – М.–Л.: Машгиз, 1956. – 252 с.

Марчук И.В., к.т.н., Олексин М.В., Ештеивили А.М.

Луцкий национальный технический университет

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ШЛИФОВАНИЯ НА БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

В работе рассматривается методика расчета теплонапряженности в зоне шлифования поверхностей вращения прерывистыми шлифовальными кругами. Сложившиеся условия снижения температуры путем изменения технологических факторов шлифовальной операции. Установлены взаимосвязи между режимами шлифования конструктивными особенностями шлифовального инструмента и температурными параметрами шлифовальной операции.

Ключевые слова: наследственность, температура, скорость, трения.

I. Marchuk, M. Oleksin, A. Eshteivili

Lutsk National Technical University

TEMPERATURE CONTROL CENTRELESS GRINDING TO POLISHING OPERATIONS

We consider the method of calculation of Thermal Stress in the area of the grinding surfaces of revolution intermittent grinding wheel. Under these circumstances, lowering the temperature by changing technological factors sanding operations. Established relationship between mode design of the grinding tool grinding and sanding operation temperature parameters.

Keywords: heredity, temperature, speed, friction.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗОВАНИХ КЛІНІКО-БІОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою визначення найбільш перспективних лабораторних технологій розглянуто варіанти сучасних методик для найпоширеніших клініко-біологічних досліджень, оптимальні показники інформативності даних технологій. Обґрунтовано перспективи сучасних автоматизованих клініко-біологічних досліджень та узагальнена інформація про можливості лабораторної медицини. Розглянуто техніко-аналітичні характеристики сучасних аналізаторів та засобів для проведення сучасного лабораторного дослідження.

Ключові слова: біохімічні дослідження, аналізатори крові, автоматизовані системи.

Однією з особливостей сучасної медицини є розширення спектру і об'єму виконання лабораторно-діагностичних досліджень. Це стало можливим завдяки розробці нових, більш інформативних (в порівнянні з раніше відомими) лабораторних тестів, а також автоматизації процедури аналізу при проведенні клініко-біохімічних, гематологічних, загальноклінічних, імунологічних, гормональних досліджень [2].

В більшості ординарних клініко-діагностичних лабораторій практикується ручний (мануальний) метод аналізу, що базується на безпосередній участі лаборанта в здійсненні всіх основних етапів клініко-лабораторного дослідження: узятті біологічного матеріалу, реагентів, їх змішування, інкубації, реєстрації аналітичного сигналу (на фотометрі або іншому приладі), розрахунку концентрації визначуваної речовини. При цьому навіть незначні відхилення в умовах виконання аналізу (що неминуче виникають при постановці великої кількості проб) здатні істотно впливати на кінцевий результат лабораторного дослідження. З метою удосконалення мікробіологічних досліджень в медицині, передбачається підвищити рівень технічного обладнання переважно за рахунок автоматизованих систем, скоротити час видання результатів мікробіологічних досліджень до розумних, які б задовольняли лікаря та пацієнта [1].

Автоматизація біохімічних досліджень в світовій лабораторній практиці почалася приблизно з середини 50-х років минулого сторіччя. Першим поштовхом до її проведення послужило створення фотометрів і спектрофотометрів з контрольованою температурою кювети, оскільки це дозволило реалізувати на практиці принцип кінетичного дослідження субстратів, ферментів та інших речовин. Надалі ці апарати почали наділяти електронною функцією автоматичного перекладу реєстрованих значень абсорбції в показники концентрації або активності.

Усю лабораторну техніку умовно поділяють на дві групи: 1) прилади й апарати, що використовують для кількісного визначення компонентів біологічних проб; 2) допоміжне устаткування, необхідне для лабораторних медичних досліджень [3].

До першої групи належить аналітична апаратура загального призначення: спектрофотометри, фотоелектроколометри, денситометри, хроматографи, флуориметри, поляриметри, рефрактометри, мікроскопи та ін.

До другої — апаратура спеціального призначення: 1) для гематологічних досліджень клітин крові та їх патологічних змін, а саме: а) визначення рівня гемоглобіну — гемометри, гемоглобінометри; б) аналіз формових елементів крові — гемоцитометри, цитофлуориметри; в) аналіз фізичних параметрів крові — гемовіскозиметри, СОЕ-метри; 2) для коагулологічних досліджень (дослідження згортаючої системи крові) — коагулографи, коагулометри, тромбографи, тромбометри, агрегометри; 3) для комплексних аналізів крові — автоматичні й напівавтоматичні гемоаналізатори; 4) для цитологічних досліджень (дослідження клітин та їх патологічних змін) у зіскрібках, змивах, біорідинах, крім крові — цитометри чи автоматизовані пристрої для цитологічної діагностики; 5) для біохімічних досліджень (визначення органічних і неорганічних хімічних речовин: субстратів, метаболітів, ферментів біохімічних процесів у крові та інших біорідинах людини) — аналізатори для визначення глюкози, білірубину, сечовини, ферментів і субстратів, кислотно-основного складу крові, електролітного складу крові (іонів калію, натрію, кальцію, магнію, літію, хлору); 6) для мікробіологічних досліджень (мікроорганізмів у біорідинах людини) — прилади для рахунку колоній бактерій, аглютиноскопи, напівавтоматичні системи для мікробіологічних досліджень, прилади для

бактеріологічного аналізу повітря; 7) для імунологічних досліджень (визначення імунних чинників: клітинні та тканинні антигени, антитіла, цитокіни, макрофаги тощо) — аналізатори (імуноферментні, імунолюмінесцентні, імунофлюоресцентні), прилади для імуноелектрофорезу, апарат Флорінського [5,9].

Допоміжне устаткування використовується при проведенні лабораторних робіт традиційними методами і засобами, які пов'язані з виконанням цілої низки технологічних операцій: зберігання біологічного матеріалу, дозування проб і реактивів, перемішування, інкубація чи гермостатування. До цієї групи належать дозатори рідин автоматичні й напівавтоматичні, комплекти крапельниць зі штативом, багатоканальні піпетки, мікропіпетки, мікродозатори, напівавтомати для розливу живильних середовищ, бані водяні, ваги аналітичні, наважки, вакуумна сушарка, центрифуги, термостати, холодильники, термометри та ін.

В даний час комп'ютеризація і автоматизація змінили характер роботи клініко-діагностичних лабораторій лікувально-профілактичних установ. Виконання практично всіх біохімічних та інших видів лабораторних досліджень стає можливим завдяки автоаналізаторам. Підключення їх до комп'ютерів значно полегшує формування серії досліджень для одного пацієнта, зберігання в пам'яті результатів, підготовку відповіді клініцистові та ін.

Арсенал сучасних аналізаторів і технічних засобів для проведення біохімічних досліджень різноманітний: скло і посуд, вакуумні системи забору крові - Вакует, різноманітні дозуючі пристрої, звичайні і програмовані фотометри, високопродуктивні біохімічні аналізатори. Поява нових методів аналізу, нових досконалих технологій сприяє щорічному оновленню на ринку лабораторного обладнання, постійної зміни умов роботи на ньому відомих фірм, появи нових компаній, злиття їх між собою, швидкому вирішенню складних науково-технічних проблем, що не мають рівних собі по складності в інших областях приладобудування.

Стандартизація режимів визначення, що досягається автоматизацією всієї процедури аналізу, природно, підвищує надійність його виконання, притому за коротший період часу з використанням значно меншого (чим при мануальному дослідженні) об'єму реагентів і біологічного матеріалу.

Найбільше поширення в сучасній діагностичній сфері отримав біохімічний аналізатор крові, здатний відображати інформацію про основні параметри біохімії, серед яких на перше місце виходить ферментний склад плазми, показники електролітів, метаболітів плазми і т.п. Серед поширених аналізаторів біохімічних показників крові, які сьогодні активно використовуються спеціалістами, слід виділити в першу чергу, напівавтоматичні та автоматичні прилади, а також ручні спектрофотометри [3, 6].

Напівавтоматичний аналізатор дозволяє звести роботу спеціаліста до мінімуму. Основною метою лаборанта при використанні напівавтоматичного аналізатора є лише приготування проб та підготовка реагентів. Інші роботи, включаючи розрахунок результатів, проводяться біохімічним аналізатором, згідно наперед заданого алгоритму. Причому необхідна інформація відображається на дисплеї приладу.

Аналізатор автоматичний біохімічний відноситься до категорії найбільш прогресивних та зручних для повсякденного застосування приладів, застосування якого не потребує участі спеціаліста. В ході дослідження необхідним є лише налаштування приладу, яке припускає підбір необхідних профілів, програмування тестів, згідно яким визначаються потрібні параметри в пробах, які аналізуються. Біохімічний аналізатор автоматичний здатний продемонструвати найвищу продуктивність, самостійно вимірюючи десятки і сотні параметрів протягом години.

Техніка автоматичного лабораторного аналізу до теперішнього часу досягла високого ступеня досконалості. Розроблено декілька десятків варіантів конструкції автоаналізаторів для здійснення біохімічних, гематологічних та імунохімічних досліджень. Відомі в світі біохімічні автоаналізатори можуть бути підрозділені на три основні групи:

1. Одноцільові біохімічні автоаналізатори, за допомогою яких в аналізованій пробі визначається лише один компонент біологічної рідини або тканини. До таких можуть бути віднесені, наприклад, аналізатор «Глюкоза-2» фірми «Бекман», автоматичний пристрій для визначення рівня глюкози в сироватці (плазмі) крові (Esat-6660), автоматичний титратор для визначення вмісту кальцію і так далі.

2. Автомати для визначення так званих споріднених компонентів. Це, наприклад, автоаналізатор амінокислот, за принципом дії – полум'яний спектрофотометр атомної абсорбції.

3. Багатоцільові біохімічні автоматичні пристрої, що призначаються для встановлення вмісту в біологічних рідинах великої кількості різних по хімічній природі компонентів, які в лікувально-профілактичних установах найширше застосовуються для виконання ординарних і деяких спеціальних клініко-лабораторних досліджень [2].

Принцип дії біохімічного автоаналізатора та шляхи проходження проби представлений на рис. 1.

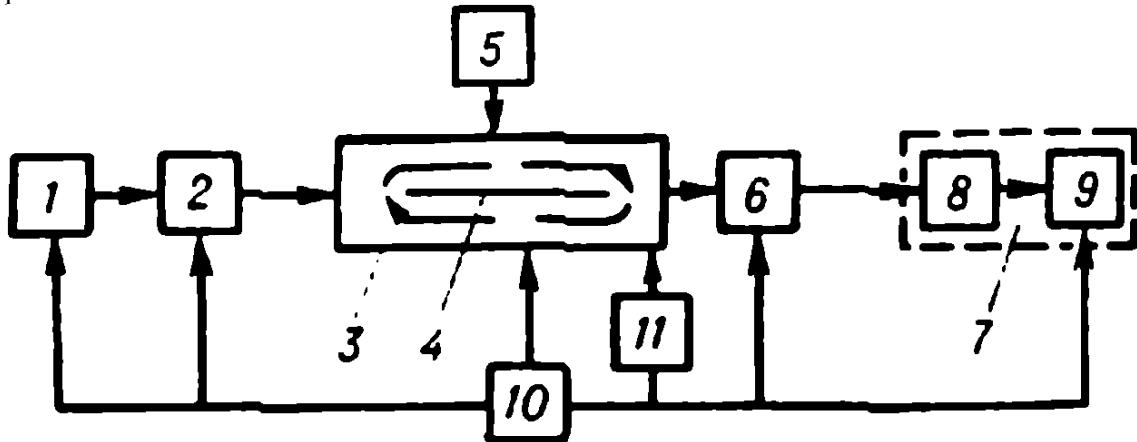


Рис. 1. Принцип дії біохімічного автоаналізатора та шляхи проходження проби

Досліджувана проба поступає в завантажувальний пристрій (1), звідки надходить до дозуючого апарату (2). Після цього проба послідовно рухається в транспортуючому пристрої (3), де одночасно відбувається її термостатування у вбудованому термостаті (4).

По мірі транспортування проби в транспортуючому пристрої відбувається дозування необхідних реагентів за допомогою спеціальних дозаторів (5) та їх перемішування з пробой. В залежності від конструкції автоаналізатора отримана реакційна суміш фотометрується або безпосередньо в пробірці транспортуючого пристрою, або подається в спеціальну прозору кювету вимірювача. В першому випадку ця пробірка може бути використана лише один раз і в подальших операціях не використовується, або після миття та сушіння в спеціальному пристрої (11) заповнюється новою пробой. В другому випадку слід вжити заходів для зменшення впливу попередньої проби на наступну.

Сигнал з виходу лічильника (6) поступає на реєструючий пристрій (7). В більшості існуючих аналізаторів реєстрація досліджуваної речовини здійснюється на стрічкових пристроях друку: друкується код проби (адреса) та виражається в цифрах концентрація (активність) досліджуваної речовини. В цьому випадку сигнал з лічильника перетворюється масштабується в функціональному та аналогічному перетворювачах (8) в цифровий код, який відповідає концентрації (активності) досліджуваного розчину.

Зчитування даних вимірювання з аналого-цифрового перетворювача та адресної інформації (номер проби) з її носія (кода, зафіксованого на пробірці з пробой) здійснюється пристроєм цифрової реєстрації (9). Синхронізація роботи всіх вузлів блоків автоаналізаторів здійснюється пристроєм керування (10).

Усім біохімічним автоаналізаторам властиві:

- 1) програмне забезпечення, що досягається використанням сучасної комп'ютерної техніки;
- 2) здійснення контролю за роботою окремих блоків приладу та контролю якості лабораторних досліджень, що проводяться (у відповідності із закладеною комп'ютерною програмою);
- 3) автоматичні пробопідготовка та дозування.

Отже, особливістю завантаження біохімічних аналізаторів, яка впливає на економічність роботи, є можливість застосування мінімального об'єму проб та препаратів для отримання найбільш об'єктивних результатів. Крім того, під час роботи аналізаторів забезпечується постійний доступ до зразків, реактивів і витратних матеріалів. Це дає можливість у разі термінової необхідності зупинити роботу апарата та долучати до дослідження нові зразки донорської крові, що прискорює проведення аналізів. Також завдяки автоматичності виконання імунологічних досліджень мінімізується вплив людського фактору на результат аналізу. Застосування більшості моделей таких пристроїв вимагає лише участі фахівця при програмуванні режимів вимірювань.

Інформаційні джерела

1. Біохімічні дослідження у клініці. Ф.И. Комаров, Б.Ф. Коробкін, К.: Мед-прес інформ, 2002. – 475 с.
2. Електронний посібник до вивчення курсу «Організація лабораторної справи з системою управління якістю лабораторних досліджень» / Т. М. Шевченко, П.М. Полушкін – Д.: ДНУ, 2014. – 136 с.
3. Клинико-лабораторные аналитические технологии и оборудование. Под редакцией профессора В.В.Меньшикова. М.: Академия, 2007 – 240 с.
4. Клинический диагноз – лабораторные основы. Под редакцией В.В.Меньшикова – М.: Лабинформ, 1997. – 348 с.
5. Лабораторные методы исследования в клинике. Справочник под редакцией В.В.Меньшикова – М.: Медицина, 1987. – 452 с.
6. Лея Ю.Я. Оцінка клінічних результатів крові та сечі. Ю.Я.Лея, К.: Мед-прес Інформ, 2002. – 212 с.
7. Організація мікробіологічних досліджень. Під ред. В.М.Ослопова, К.: Медпрес – Інформ, 2000. – 348 с..
8. Руководство по клинической лабораторной диагностике. Под редакцией В.В.Меньшикова – М.: Медицина, 1982. – 488 с.
9. Учебное пособие по клиническим лабораторным методам исследования. Под редакцией Л.В.Козловской, А.Ю.Николаева – М.: Медицина, 1985. – 248 с.

Мельник С.А. к.б.н

Луцкий национальный технический университет

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КЛИНИКО-БИОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью определения наиболее перспективных технологий изучены варианты современных наиболее распространенных клинико-биологических исследований, их оптимальные показатели информативности данных технологий. Обоснованы перспективы современных автоматизированных клинико-биохимических исследований и обобщена информация о возможностях лабораторной медицины. Рассмотрены технико-аналитические характеристики современных анализаторов, а также инструментов для проведения современного лабораторного исследования.

Ключевые слова: биохимические исследования, анализаторы крови, автоматизированные системы.

S. Melnik

Lutsk National Technical University

ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES OF AUTOMATED CLINICAL AND BIOCHEMICAL

Modern laboratory techniques were studied for determination of the methods' informativeness. A list of the information values of modern and widely used techniques is drawn up. The optimal time of clarifying the standards for results of the laboratory examinations is determined. The prospects development of informativeness of the modern automated clinical and biochemical studies is grounded and some information on laboratory diagnostics is summarized.

Keywords: biochemical research, blood analyzers, automated systems.

3D ПРИНТЕРИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Дана стаття присвячена аналізу такого продукту розвитку інноваційних технологій, як 3D-принтери і застосування їх в приладобудуванні. В роботі охарактеризовані базові технології тривимірного друку (3D-друку). Особливу увагу приділено різним аспектам впливу, яке дана технологія здатна надати на розвиток застосування новітніх технологій при виготовленні приладів. Перспективи використання представленого матеріалу пов'язані з можливостями його застосування, наприклад, при виготовленні складових елементів приладів різного призначення, що дозволяє зменшити витрати на їх виготовлення.

Ключові слова: 3D друк, 3D технології, тривимірне моделювання, приладобудування, прилади, 3D принтери, фаббер-технології, фаббери, цифрові моделі.

Сучасний розвиток науки та техніки супроводжується значними ускладненнями технологій та методологій, зростає потреба у використанні сучасних мобільних систем, підвищенні їх оперативності і повноті всебічного забезпечення. Ефективні методи вирішення проблем можуть дати фаббер-технології, які також називаються технологіями швидкого прототипування (RapidPrototyping) або тривимірного друку. [1]

Фаббер-технології – це технології швидкого макетування, тривимірного друку, отримання твердотільної фізичної форми за допомогою спеціальних цифрових фабрикатів – фабберів.

Історія виникнення таких пристроїв нараховує декілька століть. Вперше ідея автоматизованого виготовлення тривимірного твердого тіла була реалізована ще в XVIII столітті для копіювання медальйонів. Пізніше Джеймс Ватт виготовив машину здатну до вирізання людського бюсту. Більше 45 років тому з'явилися верстати з числовим програмним керуванням, які дозволяють на основі програм машинного проектування матеріалізувати проекти, синтезовані в комп'ютерах.

Більш сучасний підхід представляє собою виготовлення твердотільної фізичної форми, шляхом фіксації формоутворюючої рідини, листового або формодисперсного матеріалу в послідовних локальних місцях і рівнях об'єкту, який синтезується. [2].

Широке використання потенціалу тривимірного друку дозволить економити кошти і час, а також підвищити продуктивність сучасних мобільних систем.

3D-друк - це інструмент для розширення можливостей. Вже зараз він дозволяє створювати деталі і вироби, що змінюють життя країн, що знаходяться в тяжкому становищі, і районів, які постраждали від кризи.

Таким чином, дослідження активно ведуться і можна припустити, що в самому недалекому майбутньому застосування 3D-принтерів дозволить створювати складні тривимірні проєкційні моделі будівель з точністю передачі в 100 мікрон, які особливо актуальні для наукових інститутів.

Сучасні технології 3D друку поділяються на два основних принципи пошарового створення твердого об'єкту: лазерні і струйні. В свою чергу, на основі цих напрямків існує багато технологій. Далі наведено класифікацію та короткий опис основних технологій, які на сьогодні використовуються найчастіше при виготовленні 3D моделей.

Стереолітографія (StereoLithographyApparatus, SLA). Вихідним продуктом є рідкий фотополімер, в який доданий спеціальний реагент-затверджувач, і ця суміш нагадує всім відомому епоксидну смолу, тільки в звичайному стані вона залишається рідкою, а коли полімеризується - стає твердою під впливом ультрафіолетового лазера.

Природно, лазер не може відразу створити всю модель в товщі полімеру, і мова може йти тільки про послідовній побудові тонкими шарами. Тому використовується рухома підкладка з отворами, яка за допомогою мікроліфта-елеватора занурюється в фотополімер на товщину одного шару, потім лазерний промінь засвічує області, що підлягають затвердінню, підкладка занурюється ще на товщину одного шару, знову працює лазер, і так далі.

Не обходиться і без істотних складнощів. По-перше, вимоги до самого фотополімеру досить суперечливі: якщо він буде густим, то його легше полімеризувати, але складніше забезпечити рівну поверхню після кожного кроку занурення; доводиться використовувати

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

спеціальну лінійку, яка на кожному кроці проходить по поверхні рідини і вирівнює її. Велика кількість затверджувача при фіксованій потужності лазера дозволить зменшити необхідний час впливу, проте неминуче фонове засвічення «псує» навколишній об'єм полімеру і скорочує можливий термін його використання.

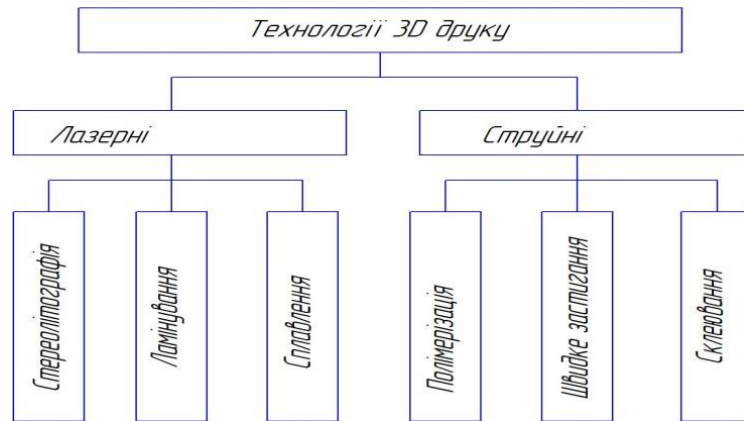


Рис. 1. Технології 3D друку

По-друге, повна полімеризація кожного шару зайняла б чимало часу, тому засвічення проводиться до рівня, при якому шар набуває лише мінімально необхідну міцність, а згодом готову модель, попередньо промивши від залишків рідкого полімеру, доводиться опромінювати потужним джерелом в спеціальній камері, щоб полімеризація досягла 100%.

Плюси технології:

- можна отримати дуже високий дозвіл друку, тобто досягти хорошої точності при виготовленні моделей, яка по вертикалі залежить в основному від можливостей елеватора, що занурює платформу, і зазвичай становить 100 мкм, а в кращих апаратах і менше, до 25-50 мкм; по горизонталі точність визначається фокусуванням лазерного променя, цілком реальним є діаметр «плями» в 200 мкм; відповідно і якість поверхні навіть без додаткової обробки виходить високим;

- механічна міцність одержуваних зразків досить висока, вони можуть витримувати температуру до 100 ° С;

- дуже мало обмежень на складність моделі і наявність у неї дрібних елементів;

- мала кількість відходів;

- легкість фінішної обробки, якщо така взагалі буде потрібна.

Недоліки:

- обмежений вибір матеріалів для виготовлення моделей;

- неможливість кольорового друку і поєднання різних матеріалів в одному циклі [3].

Ламінування. Деталь створюється з великої кількості шарів робочого матеріалу, які поступово накладаються один на одного і склеюються, при цьому лазер вирізає в кожному контур перерізу майбутньої деталі.

LOM-технологія була винайдена Михайлом Фейгеном у 1985 р. Листовий матеріал (папір, пластик, кераміка, композити або поліестер) розкрююється по заданому контуру за допомогою CO₂-лазера (можна одночасно розкрюювати більше одного аркуша, проте точність при цьому зменшується), а потім нагрівається валик, який здійснює склеювання шарів. При помилці в процесі синтезу об'ємного виробу частину шарів можна видалити.

Переваги: LOM-установки дозволяють застосовувати широкий діапазон недорогих листових матеріалів і синтезувати моделі з мінімальними деформаціями завдяки відсутності фізико-хімічних перетворень.

Недоліки: Через те, що лазер не завжди повністю прорізає лист, ускладнюється видалення відходів і навіть не виключено пошкодження деталей, а властивості матеріалу можуть змінюватися. Жорстку поверхню виробу важко обробляти через можливість розшарування, а в робочому приміщенні необхідна вентиляція.[4]

Сплавлення FDM (Fused Deposition Modeling). FDM - найпоширеніша технологія 3D-друку в світі. З її допомогою вирощують вироби як дешеві домашні принтери, так і промислові системи високоточного 3D-друку. Принцип побудови моделі за технологією FDM полягає в пошаровому вирощуванні виробу з попередньо розплавленої пластикової нитки.

Принцип роботи технології:

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

3D-модель в форматі STL передається в програмне забезпечення 3D-принтера. Програма автоматично (або оператор вручну) має модель в віртуальному просторі робочої камери. Потім програма автоматично генерує елементи допоміжних конструкцій (зі спеціального матеріалу підтримки) і проводить розрахунок кількості витратних матеріалів, а також часу вирощування прототипу. Перед запуском процесу друку модель автоматично розділяється на горизонтальні шари і проводиться розрахунок шляхів переміщення друкуючої головки.

Потім запускається процес безпосередньої 3D-друку: екструдер розплавляє тонку пластикову нитку і пошарово вкладає її згідно з даними математичної 3D-моделі.

Після завершення процесу побудови виробу допоміжні конструкції видаляються (вручну або розчиняються в спеціальному розчині). Готовий виріб може бути використано в надрукованому вигляді або піддано будь-якого способу пост-обробки.

В якості витратного матеріалу найчастіше використовуються різні пластики.

Мінуси, властиві даній методиці, очевидні:

- невисока швидкість роботи (але, власне, дуже вже високою швидкістю не можуть похвалитися й інші технології: для побудови великих і складних моделей потрібно багато годин і навіть десятки годин);

- невелика роздільна здатність як по горизонталі, так і по вертикалі, що призводить до помітної шаруватості поверхні виготовленої моделі;

- проблеми з фіксацією моделі на робочому столі (перший шар повинен прилипнути до поверхні платформи, але так, щоб готову модель можна було зняти); їх намагаються вирішити різними способами - підігрівом робочого столу, нанесенням на нього різних покриттів, проте зовсім і завжди уникнути не виходить;

- для нависаючих елементів потрібне створення підтримуючих структур, які згодом доводиться видаляти, але навіть з урахуванням цього деякі моделі просто неможливо зробити на FDM-принтері за один цикл, і доводиться розбивати їх на деталі з подальшим з'єднанням склеюванням або іншим способом з'єднання.

Таким чином, для дуже багатьох зразків, виготовлених за технологією FDM, необхідна фінішна обробка, яку складно або неможливо механізувати, тому в основному вона проводиться вручну.

Є і менш очевидні недоліки, наприклад, залежність міцності від напрямку, в якому прикладається зусилля. Так, можна зробити зразок досить міцним на стиск в напрямку, перпендикулярному розташуванню шарів, але ось на скручування він буде менш міцним: можливий розрив по межі шарів.

Термоусадка, яка призводить до зміни розмірів зразка після охолодження. Звичайно, тут багато залежить від властивостей використовуваного матеріалу, але деколи не можна примиритися навіть зі змінами в кілька десятих часток відсотка.[5]

Струменева полімеризація. Розроблений в Массачусетському Технологічному інституті процес тривимірного друку був названий так через свою схожість з друком на струменевому принтері. При тривимірному друці замість чорнила використовується рідка речовина. Процес тривимірного друку відбувається наступним чином:

1. Платформа розташовується на висоті, необхідній для того, щоб можна було нанести на неї шар керамічного порошку належної товщини.

2. Нанесений шар керамічного порошку вибірково сканується друкуючої головкою, з якої надходить рідка сполучна речовина, що викликає прилипання частинок одна до одної. Відскановані друкуючої головкою частинки утворюють необхідну форму поперечного перерізу. Цей крок починається з нижнього поперечного перерізу.

3. Платформа опускається на задану товщину шару, дозволяючи нанести наступний шар порошку.

4. Новий шар сканується, утворюючи наступний поперечний переріз і склеюючись з попереднім шаром.

5. Кроки 3 і 4 повторюються, поки не буде створений верхній шар деталі.

6. Для затвердіння деталі проводиться подальша теплова обробка.

За допомогою тривимірного друку зручно виготовляти форми для лиття, оскільки форма виготовляється як цілісна деталь, що складається з оболонки і порожнин, і положення порожнин відносно оболонки можна було б ставити точно. Однак форми для лиття, виготовлені шляхом сучасного тривимірного друку, все ще мають невисоку якість поверхні.[6]

Швидке застигання (SLM) - виробництво деталей з металевих сплавів. Технологія SLM схожа на SLS, їх іноді навіть плутають, але все ж є кардинальні відмінності. У той час як в

SLS частки порошку спікається один з одним, то тут металеві частинки доводяться до стану розплавлення і зварюються один з одним, утворюючи жорсткий каркас.

Метод бере своє коріння з Інституту Лазерних Технологій Фраунгофера, Німеччина (Fraunhofer-Institut für Lasertechnik). У 1995 році там народився дослідний проект, який очолювали Вільгельм Майнерс і Курт Віссенбах. Пізніше ці вчені об'єднали свої зусилля з Діетором Шварцем і Маттіасом Фокеле з компанії F & S Stereolithographie-technik GmbH, після чого метод був офіційно запатентований. Напочатку 2000-х років F & S стала співпрацювати з іншою німецькою компанією, MCP HEK GmbH. Зрештою, згадані вище вчені очолили компанії SLM Solutions GmbH і Realizer GmbH, що успадкували всі попередні напрацювання.

Побудова моделі починається з підготовки вже відомого нам stl файлу. Програма розраховує 2D модель кожного шару з кроком зазвичай від 20 до 100 мікрон, додаючи при необхідності структури підтримки. Зведення кожного шару починається з рівномірного розподілу металевих порошків по всій площі підкладки, на якій буде "рости" модель. Цю роботу виконує або валик, або щітка, схожа на автомобільний склоочисник. Кожному шару відповідає 2D схема. Весь процес відбувається в спеціальній герметичній камері, наповненій інертним газом, наприклад, аргоном, або азотом з малими домішками кисню. Система фокусування направляє високопотужний лазер на металеві частинки, розплавляючи і зварюючи їх між собою. По контурах перетину проходить суцільна зварка. Залишки порошку, що залишилися від виготовлення деталі, можуть повторно використовуватися для друку наступної моделі.

Застосовувані матеріали включають в себе нержавіючу сталь, інструментальну сталь, сплави хрому та кобальту, титан, алюміній. Можуть застосовуватися й інші сплави - головне, щоб вони, будучи подрібненими до стану частинок, мали певні характеристики сипучості.

3D моделювання методом SLM міцно увійшло в наше життя. Воно в рази скоротило час, який потрібен на виготовлення деталі в порівнянні з традиційними способами. Деякі галузі авіабудування, нафтовидобування і медицини потребують таких складних компонентів, які просто неможливо виготовити по-іншому. Особливо це стосується об'єктів з великою площею поверхні і одночасно малим об'ємом.[7]

Вибіркова лазерна плавка незамінна в аерокосмічній галузі, де йде боротьба за кожен грам - деталь повинна виконувати свої функції і бути міцною, але разом з тим мати матеріал тільки в тих місцях, де без нього не обійтися.

Склеювання. Технологія склеювання порошків - вона ж Binding powder by adhesives дозволяє не просто створювати об'ємні моделі, а й розфарбовувати їх.

Принтери з технологією binding powder by adhesives використовують два види матеріалів: крохмале-целюлозний порошок, з якого формується модель, і рідкий клей на водній основі, який проклеює шари порошку. Клей надходить з друкуючої головки 3D принтера, пов'язуючи між собою частинки порошку і формуючи контур моделі. Після завершення друку надлишки порошку видаляються. Щоб надати моделі додаткової міцності, її порожнечі заливаються рідким воском.

FDM-технологія використовується найчастіше практично у всіх галузях використання 3D принтерів, тому для подальшої роботи обрано саме технологію сплавлення.

На точність виготовлення деталей за допомогою 3D принтерів, впливає багато факторів які будуть розглянуті далі в статті.

3D-принтери створюють реальні, відчутні речі з віртуальних моделей. Тому, в першу чергу, в програмі для 3D-моделювання створюється цифрова версія майбутнього об'єкту.

Потім модель обробляється спеціальною програмою («слайсер» або «G-генератор коду»). Вихідний об'єкт "розрізається" на тонкі горизонтальні шари і перетворюється в цифровий код, зрозумілий 3D-принтеру. Іншими словами, слайсер створює набір команд, які вказують 3D-принтеру, як і куди потрібно наносити матеріал при 3D-друку даного об'єкта.

Існує безліч типів 3D-принтерів, які розрізняються за технологіями друку і принципом побудови. Однак, всі ці прилади використовують один і той же базовий принцип 3D-друку - побудова об'єкта з тонких горизонтальних шарів матеріалу.

Друкуюча головка формує шари матеріалу, поступово вирощуючи з них об'єкт. Вона рухається тільки в горизонтальній площині (уздовж осей X і Y).

Робоча платформа служить для розміщення об'єкта при друку, вона рухається зверху-вниз (по осі Z).

На початку робоча платформа знаходиться в верхньому положенні, а друкуюча головка накладає на неї нижній шар об'єкта. Після того як перший шар сформований, робоча платформа опускається на товщину шару, і друкуюча головка накладає новий шар матеріалу на

попередній.

Ключова характеристика будь-якого 3D-принтера - «роздільна здатність друку». Під цим параметром розуміють мінімально допустиму висоту шару матеріалу, з якої може друкувати даний 3D-принтер.

Роздільну здатність друку прийнято вимірювати в мікрометрах (мкм, мікрон), тобто в тисячних частках міліметра.

Очевидно, що чим тонше шари, тим менш помітний перехід між ними, відповідно, поверхня об'єкта більш гладка, а його деталі - більш виразні.

З іншого боку, чим тонше шари, тим більше часу 3D-принтера потрібно витратити на створення об'єкта, тим більше навантаження на друкуючі механізми, швидше відбувається їх знос.

Роздільна здатність друку залежить від багатьох чинників:

- від технології роботи 3D-принтера (наприклад, лазерні принтери друкують самі деталізовані моделі);
- від точності роботи друкувальних механізмів конкретної моделі;
- від обраного матеріалу для 3D-друку;
- від налаштувань програмного забезпечення.[8]

Область друку. Ще однією важливою технічною характеристикою будь-якого 3D-принтера є його робочий об'єм («область друку», «зона друку» і т.п.). Саме він показує, якого розміру об'єкти може друкувати конкретна модель 3D-принтера.

По суті, цей параметр відображає зону досяжності (охоплення) голівки принтера - в горизонтальній площині (по осях X і Y) і по висоті (Z вісь). Тобто об'єкти, що поміщаються в цю зону, принтер зможе надрукувати. Розмір області друку прийнято виражати трьома цифрами: довжина, ширина і висота уявного паралелепіпеда (приклад - 20 x 20 x 20 мм). Іноді, для деяких принтерів зі специфічною схемою роботи механіки (наприклад, дельта-принтерів), область друку представляють у вигляді циліндра і вказують його діаметр і висоту. В якості одиниць виміру, як правило, використовують міліметри.[9]

Технологія 3D-друку має грандіозні перспективи розвитку. Її застосування відкриває широкі можливості автоматизації виробництва, точного, детального і безпомилкового. В майбутньому такі машини зможуть повністю замінити роботу людини. На поточний момент розвиток нових технологій 3D-моделювання досягло такого рівня, що на відповідних машинах можна відтворювати практично все - від найдрібніших деталей до органів, озброєння, цілих будинків. Більш того, проекти багатьох моделей можна з легкістю завантажити з глобальної мережі Інтернет. Природно, що подібна доступність технології, яка в перспективі може дати будь-якому охочому можливість створення будь-яких об'єктів, може викликати і побоювання: немає гарантії, що роздруковані за допомогою 3D-принтерів предмети будуть неодмінно використані на благо людству.

Інформаційні джерела

1. История развития 3D-печати. - URL:<https://sites.google.com/site/3dprinteryy/istoria>
2. Шевалье Е. Что такое 3D-принтер и что можно на нём напечатать // Аргументы и факты. - URL: <http://www.aif.ru/dontknows/file/1379601>
3. 3D-принтер // Википедия - свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>
4. Обзор расходных материалов для 3d принтеров // 3DToday. - URL:<http://3dtoday.ru/industry/obzor-raskhodnykh-materialov-dlya-3d-printerov.html>
5. PLA-пластик для 3D-печати // Энциклопедия 3D-печати. - URL: http://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic/
6. Проект RepRap // Википедия - свободная энциклопедия. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Проект_RepRap
7. 10 правил подготовки модели к 3D печати – URL: <http://habrahabr.ru/post/196182/>
8. Производители 3D-принтеров // 3DToday. - URL: <http://3dtoday.ru/3dprinters/producers/>
9. Stratasys // PLMpedia. - URL: <http://plmpedia.ru/wiki/Stratasys>
10. Купить 3D принтеры Rapid Shape. Основные сведения. // 3D List. Всё о рынке 3D-печати. - URL: <http://3dlist.ru/catalog/list/3d-printer-rapidshape/>

Мороз А. В., Заец С. С.

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

3D ПРИТЕРЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Данная статья посвящена анализу такого продукта развития инновационных технологий, как 3D-принтеры и применение их в приборостроении. В работе охарактеризованы базовые технологии трехмерной печати (3D-печати). Особое внимание уделено различным аспектам влияния, которое данная технология способна оказать на развитие применения новейших технологий при изготовлении приборов. Перспективы использования представленного материала связанные с возможностями его применения, например, при изготовлении составляющих элементов приборов различного назначения, что позволяет уменьшить затраты на их изготовление.

Ключевые слова: 3D печать, 3D технологии, трехмерное моделирование, приборостроения, приборы, 3D принтеры, фаббер-технологии, фабберы, цифровые модели.

A. Moroz, S. Zayets

National Technical University of Ukraine " Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky"

3D PRINTERS IN INSTRUMENT MAKING

This article focuses on the analysis of the product development of innovative technologies such as 3D-printers and their application in instrument. The paper described the basic technology of three-dimensional printing (3D-printing). Particular attention is paid to various aspects of the impact that this technology is able to provide the development of new technologies in the manufacture of devices. Prospects for the use of the material relating to its application, for example, in the manufacture of the constituent elements of devices for different purposes, which reduces the cost of their manufacture.

Keywords: 3D printing, 3D technology, three-dimensional modeling, instrumentation, devices, 3D printers fabber technology, fabbery digital model.

АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ ЯК ВІДОБРАЖЕННЯ МІКРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ

В статті проведено аналіз інформаційних сигналів, які використовуються в якості вимірювальних для контролю та діагностування технологічних процесів. Розглянуто суть утворення та розповсюдження хвиль акустичної емісії. Наведені основні характеристики сигналів акустичної емісії та виділенні визначальні параметри даного сигналу. Встановлено, що параметри сигналу акустичної емісії досить тісно корелюють з показниками процесу шліфування. Наведені схема пристрою для акустичної емісійної діагностики та акустограми, які отримані під час шліфування сталі ШХ-15 та сталі 45. На акустограмі розрізняються три стадії процесу шліфування. Встановлено, що на сигнали акустичної емісії істотний вплив мають умови шліфування, зокрема використання ЗОР значно змінюють величину і дисперсію амплітуди сигналу акустичної емісії. Акустична емісія, з досить великою ефективністю, використовується не тільки для контролю процесу шліфування, а і для процесу правки шліфувального круга.

Ключові слова: інформаційний сигнал, акустична емісія, шліфування, правка круга.

Під час виготовлення роликотіпшипників використовуються різноманітні технологічні процеси, які потребують контролю та вимірювання різноманітних технологічних параметрів. В сучасній промисловості в якості вимірювальних параметрів для контролю та вимірювання процесів застосовуються різноманітні інформаційні сигнали (акустична емісія, вібраційні хвилі, тощо). За останні десятиліття досить якісно розвинулася вимірювальна техніка, яка використовує сигнал акустичної емісії виробничого процесу.

Акустична емісія - це випромінювання пружних хвиль з твердого тіла (матеріалу) в результаті локальних мікродинамічних впливів на його структуру. Класичними джерелами АЕ є процес деформування, який пов'язаний з ростом дефектів, наприклад, тріщини або зони пластичної деформації. Процес генерації і виявлення АЕ наведено на рис.1. Раптовий рух джерела емісії викликає виникнення хвиль напружень, які поширюються в структурі матеріалу і досягають п'єзоелектронного перетворювача. По мірі зростання напруження, активізуються багато з наявних в матеріалі об'єкта джерел емісії. Електричні сигнали емісії, отримані в результаті перетворення датчиком хвиль напружень, посилюються, реєструються апаратурою і піддаються подальшій обробці і інтерпретації. Сигнал акустичної емісії містить в собі інформацію про перебіг фізичних процесів, які відбуваються під час тертя, деформування або руйнування матеріалу.

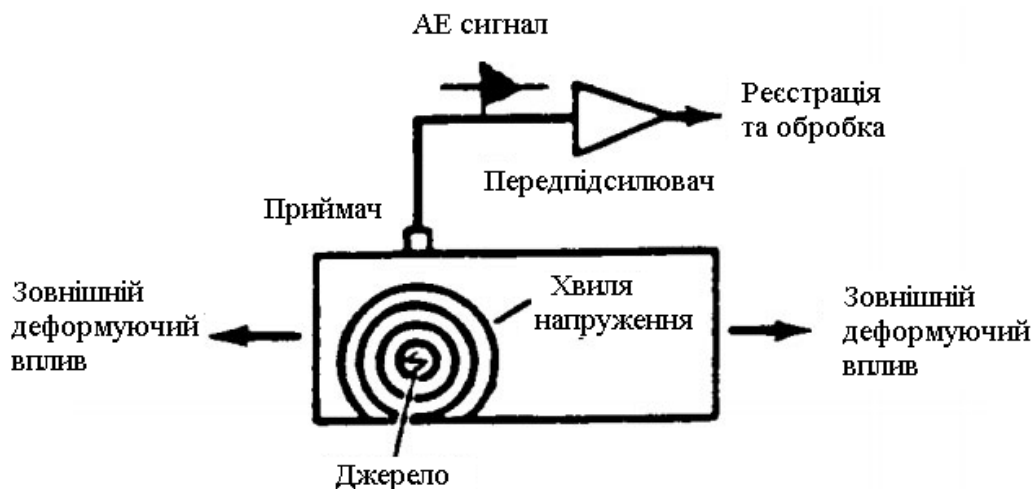


Рис. 1. Основні принципи акустичної емісії

При шліфуванні такі дії виникають в результаті контактів абразивних зерен з оброблюваним матеріалом в зоні контакту шліфувального круга з заготовкою. Локальні впливи абразивних зерен є процесами мікорізання, пластичного деформування мікрооб'ємів металу, пружного деформування з втомним руйнуванням. Акустична емісія є відображенням

комплексу цих процесів, що виникають під дією мікроударних навантажень з боку абразивних зерен на оброблюваний матеріал. Частота таких навантажень досить висока, якщо врахувати кількість зерен і частоту обертання шліфувального круга.

Однак процеси реєстрації та опрацювання сигналів акустичної емісії є досить складними. Над удосконаленням приладів та застосуванням прикладних математичних програм для опрацювання сигналів працюють вчені різних країн та промислових корпорацій. Зокрема, були розроблені методика і засоби контролю сигналів акустичної емісії при шліфуванні, визначені інформативні параметри цих сигналів [1-3].

Основними характеристиками сигналів акустичної емісії є: кількість імпульсів в секунду; максимальна амплітуда імпульсу; енергія сигналу; тривалість імпульсу; час збільшення і спаду амплітуди; тривалість імпульсу (10^{-8} - 10^{-4} с) і їх енергія (10^{-9} - 10^{-5} Дж); амплітуда коливання (10^{-14} - 10^{-7} м); інтервал частот від кілогерц до сотень мегагерц., тощо. В сигналі акустичної емісії виділяють два визначальні параметри, а саме середню амплітуду сигналу A і дисперсію амплітудного спектру D .

В результаті досліджень було встановлено, що параметри сигналу акустичної емісії досить тісно корелюють з показниками процесу шліфування, наприклад, з величиною швидкості зняття металу.

Для дослідження процесів утворення акустичної емісії застосовуються різні конструкції приладів та апаратури. Зокрема, відома конструкція (рис. 2), яка дозволяє записувати акустограми на базовій частоті 200 кГц. Як датчик використовується п'єзоелектричний перетворювач.

На рис. 3 приведена акустограма, отримана при шліфуванні сталі ШХ15 з постійним зусиллям притиску шліфувального круга.

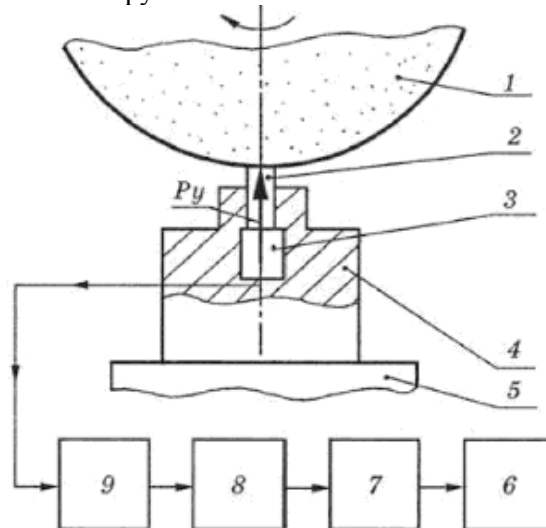


Рис. 2. Схема пристрою для акустичної емісійної діагностики: 1 - шліфувальний круг; 2 - оброблюваний зразок; 3 - п'єзоелектричний датчик; 4 - державка; 5 - стіл верстата; 6 - принтер; 7 - комп'ютер; 8 - електронний блок; 9 - попередній підсилювач

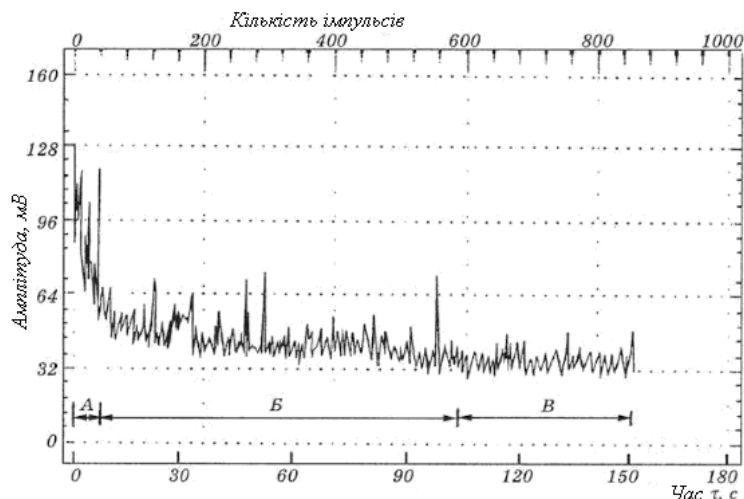


Рис. 3. Акустограма, отримана при шліфуванні сталі ШХ15

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На акустограмі розрізняються три стадії процесу шліфування за час 180 с (відповідає 1000 відлікам по осі абсцис). На першій стадії А - високий рівень амплітуди і дисперсії амплітуд, який відповідає високій ріжучій здатності круга; на другій стадії Б - зниження рівня амплітуди і дисперсії і, відповідно, зменшення ріжучої здатності круга в зв'язку з його затупленням; третя стадія В з низькими параметрами акустичної емісії обумовлена затупленням круга. У табл. 1 наведені значення параметрів акустичної емісії для різних стадій процесу шліфування сталей 45 і ШХ15.

Таблиця 1

Значення параметрів акустичної емісії для різних стадій процесу шліфування сталей 45 і ШХ15

Параметри акустичної емісії, мВ	Стадії процесу					
	1		2		3	
	Марка сталі, яка шліфується					
	ШХ15	45	ШХ15	45	ШХ15	45
Середня амплітуда	74,5	79,5	42,3	38,7	34,9	32,1
Максимум	128	131	73	62	49	45
Мінімум	50	45	34	25	27	21
Дисперсія	332,3	350,6	27,7	62,6	12,6	19,4
Середнє квадратичне відхилення	18,2	18,7	5,2	7,9	3,5	4,4

Умови шліфування істотно впливають на сигнали акустичної емісії. Так, на рис. 4 представлені акустограми, які отримані при шліфуванні сталі 45 методом врізання з постійною швидкістю подачі. Очевидно, що використання ЗОР (див. рис. 4, а) або її відсутність (див. рис. 4, б) значно змінюють величину і дисперсію амплітуди сигналу.

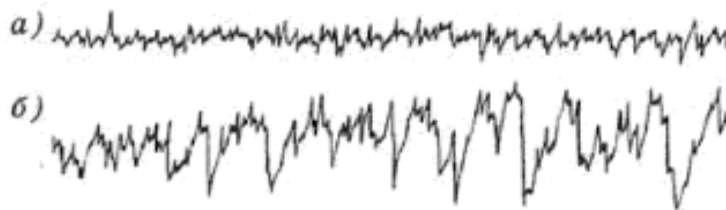


Рис. 4. Акустограми, які отримані при шліфуванні сталі 45

На рис. 5 показаний зв'язок величини дисперсії амплітуди сигналу акустичної емісії зі швидкістю зняття металу; коефіцієнт кореляції становить 0,75-0,83.

У роботах закордонних вчених [4, 5] показано, що акустична емісія використовується для контролю як процесу шліфування, так і процесу правки шліфувального круга.

Круги на гальванічній зв'язці зернистістю 250/200 ... 125/100 є одношаровими (наноситься один шар зерен ельбор або алмазу) і не підлягають виправленню. Однак після нанесення робочий шар має досить грубий мікрорельєф: при зерні 250/200 R_{max} параметр мікрорельєф шар дорівнює 15 ... 25 мкм, при зерні 160/125 - R_{max} = 10 ... 18 мкм. Це не дозволяє отримати необхідну шорсткість шліфованої поверхні. З метою усунення зазначеного недоліку виконують згладжування профілю робочого шару за допомогою алмазного інструменту – «правку».

Сутність цього процесу полягає (рис. 6) в послідовному зніманні тонких шарів (~ 1 мкм) і загальному зніманні 5 ... 10 мкм. Після «правки» R_{max} параметр для шару з зерном 250/200 становить 6 ... 6,5 мкм. Сигнал про протікання і закінчення процесу отримується методом акустичної емісії від датчика, встановленого на шпиндель круга.

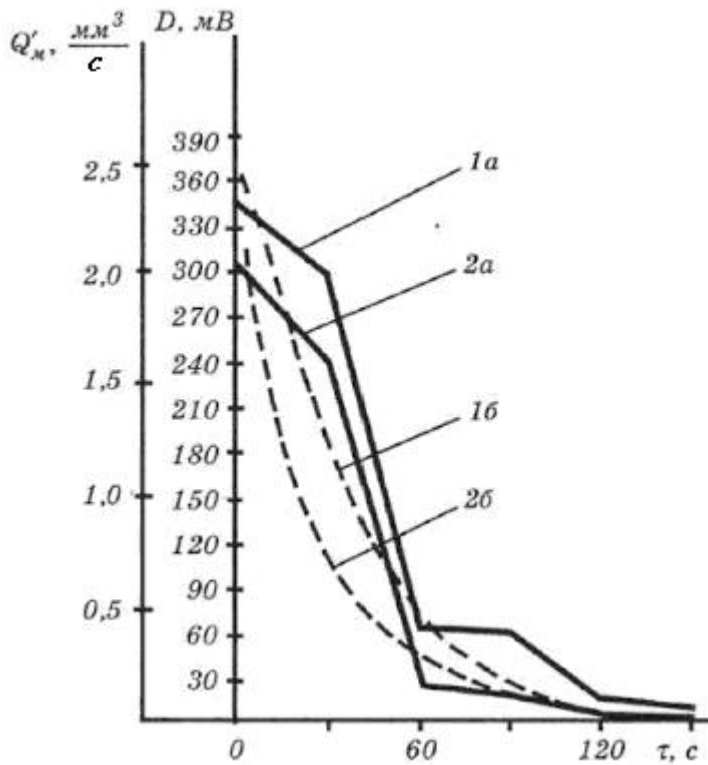


Рис. 5. Залежності швидкості зняття металу Q'_m (1а, 2а) та параметра акустичної емісії D (1б, 2б) від часу шліфування τ сталі ШХ15 (1) і сталі 45 (2)

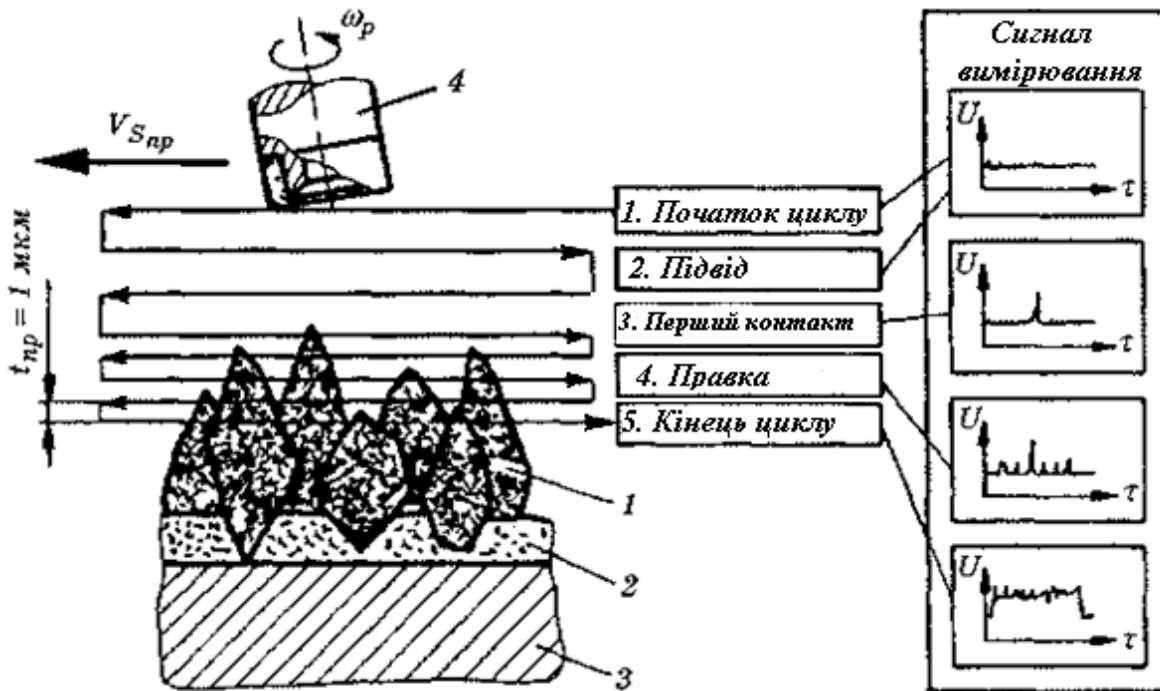


Рис. 6. Схема правки алмазного (ельборового) круга на гальванічній звязці: 1 - зерна ельбора (алмаза); 2 - звязка; 3 - корпус круга; 4 - алмазний правильний круг.

Результати досліджень показують, що параметри акустичної емісії можуть бути ефективно використані для комп'ютерної діагностики процесу шліфування. Однак, застосування акустичної емісії у технологічному процесі виготовлення незважаючи на вказані переваги містить і деякі труднощі. Зокрема: існують складнощі у виділенні корисного сигналу серед шумових сигналів виробничого обладнання; проектування спеціальних датчиків для реєстрації сигналів акустичної емісії; визначення місць встановлення датчиків на виробничому обладнанні для найбільш ефективного сприйняття інформаційного сигналу.

Інформаційні джерела

1. Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В. Грешников, Ю. Дробот - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 276.
2. Кремень З. И. Технология шлифования в машиностроении/ [Кремень З. И., Юрьев В. Г., Бабошкин А. Ф.] - СПб.: Политехника, 2015. - 424 с.: ил.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. Клюева В.В. Т.7: в 2 кн. Кн.1: Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 2005. - 829 с.
4. Sotirios J. Vahaviolos (1999). Acoustic Emission: Standards and Technology Update. STP-1353. Philadelphia, PA: ASTM International (publishing).
5. Acoustic emission/ microseismic activity. Volume 1. Principles, Techniques, and Geotechnical Applications H. Reginald Hardy, Jr. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA

Мороз С.А., к.т.н. Петрук И.В., магистрант Петрук О.В., магистрант
Лугцкий национальный технический университет

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ МИКРОДИНАМИЧНИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В статье проведен анализ информационных сигналов, которые используются в качестве измерительных для контроля и диагностирования технологических процессов. Рассмотрена сущность образования и распространения волн акустической эмиссии. Приведены основные характеристики сигналов акустической эмиссии и выделения определяющие параметры данного сигнала. Установлено, что параметры сигнала акустической эмиссии достаточно тесно коррелируют с показателями процесса шлифования. Приведенная схема устройства для акустической эмиссионной диагностики и акустограммы, полученные во время шлифовки стали ШХ-15 и стали 45. На акустограммы различаются три стадии процесса шлифования. Установлено, что на сигналы акустической эмиссии существенное влияние оказывают условия шлифовки, в частности использование СОЖ значительно изменяют величину и дисперсию амплитуды сигнала акустической эмиссии. Акустическая эмиссия, с достаточно большой эффективностью, используется не только для контроля процесса шлифования, но и для процесса правки шлифовального круга.

Ключевые слова: информационный сигнал, акустическая эмиссия, шлифовка, правка круга.

S. Moroz, I. Petruk, O. Petruk

Lutsk national technical University

ACOUSTIC EMISSION AS MICRO REFLECTION PROCESSES DYNAMICALLY AT THE GRINDING

The article analyzes information signals, which are used as measuring instruments for monitoring and diagnosing technological processes. The essence of formation and propagation acoustic emission waves is considered. The main characteristics of acoustic emission signals and the identification of the determining parameters a given signal are given. It is established that the parameters of the acoustic emission signal are closely correlated with the parameters grinding process. The resulted scheme of the device for acoustic emission diagnostics and acoustograms obtained during the grinding of steel ШХ-15 and steel 45. On acoustograms three stages of the grinding process differ. It is established that the acoustic emission signals are significantly influenced by grinding conditions, in particular, the use of coolant significantly changes the magnitude and dispersion of the amplitude acoustic emission signal. Acoustic emission, with rather high efficiency, is used not only to control the grinding process, but also for the process of dressing the grinding wheel.

Key words: information signal, acoustic emission, grinding, circle correction.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНОГО СУПРОВОДУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В статті проведено аналіз методу акустичної емісії, на основ дослідження утворення, розповсюдження та складових самого інформаційного сигналу. Розглянуто формування найпростішого типу хвилі від акустично-емісійного джерела, та зміну її форми при поширенні в середовищі матеріалу і при перетворенні датчиком. Наведені основні причини від яких залежить форма зареєстрованого сигналу. Встановлено, які елементи інформаційно-діагностичної системи створюють акустичні шуми. Розглянуті складові параметри інформаційного сигналу акустичної емісії та дано характеристика їх для конкретних цілей вимірювання. Наведені основні способи відображення інформаційних параметрів акустичної емісії та наведені їх приклади. Сформовані рекомендації та висновки щодо застосування сигналів акустичної емісії для інформаційно-діагностичного супроводу технологічних процесів.

Ключові слова: інформаційний сигнал, акустична емісія, параметри сигналу.

У традиційному уявленні метод акустичної емісії (АЕ) відноситься до пасивних, які засновані на реєстрації і аналізі виникаючих ультразвукових пружних хвиль з твердого тіла (матеріалу) в результаті локальних мікродинамічних впливів на його структуру. Специфікою даного методу є те, що на відміну від активних методів, які реєструють вже існуючі дефекти, він дозволяє реєструвати сам процес утворення дефектів, в тому числі і в реальному часі, тобто джерелом сигналу служить сам матеріал, а не зовнішнє джерело. Разом з тим метод АЕ знайшов нові сфери застосування, пов'язані з діагностикою та експрес вибором параметрів режимів різання матеріалів токарною і фрезерною [1, 2], ультразвуковою [3] і лазерною [3] обробкою.

Для застосування методу акустичної емісії у виробництві необхідно встановити, які складові сигналу найбільш повно характеризують технологічний процес.

Найпростіший тип хвилі від АЕ джерела представлений на рис.1. Хвильове зміщення являє собою функцію близьку до ступінчастої. Напруження, яке відповідає зміщенню, має форму імпульсу, ширина і висота якого залежать від динаміки процесу випромінювання. Амплітуда і енергія початкового імпульсу АЕ може змінюватися в широкому діапазоні в залежності від типу джерела акустичної емісії. Хвиля (імпульс), яка зародилася, поширюється від джерела у всіх напрямках, при цьому поширення відповідно до природи джерела може носити яскраво виражений анізотропний характер, як показано на рис.2.

Форма первинної хвилі зазнає суттєвих змін при поширенні в середовищі матеріалу і при перетворенні датчиком, тому сигнал, що прийшов з датчика, досить віддалено нагадує вихідний сигнал від джерела. Така зміна форми АЕ сигналу є важливою проблемою, з якою доводиться стикатися при дослідженнях функції джерела.

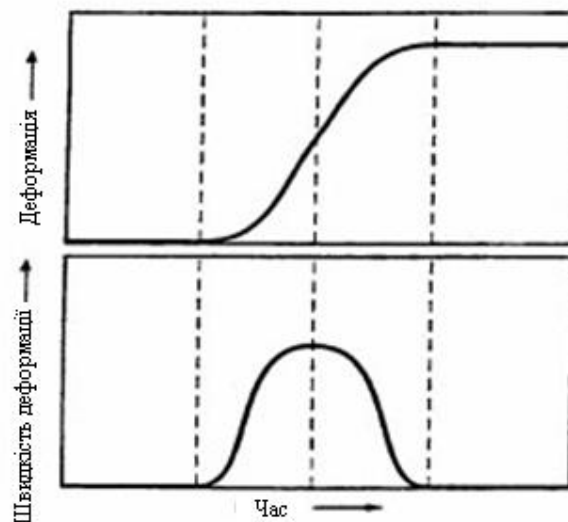


Рис. 1. Найпростіший тип хвилі АЕ

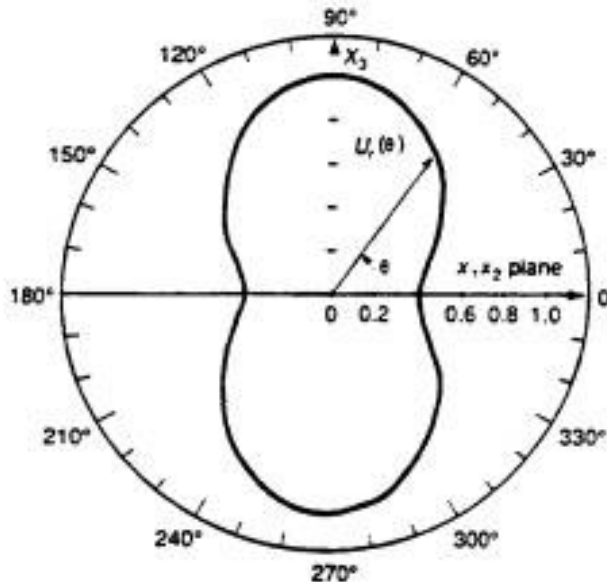


Рис. 2. Кутова залежність АЕ від напрямку поширення джерела

У той час як аналіз функції джерела в більшості випадків ґрунтується на дослідженні лише початкової частини сигналу, технологія АЕ дозволяє реєструвати сигнал цілком. Частина сигналу, яка наступна за початковою, складається з багатьох хвильових компонент, які поширювалися до датчика за різними шляхами. Зазвичай максимум амплітуди сигналу формується не першою хвильовою компонентою, а в результаті інтерференції кількох наступних компонент. Перш, ніж АЕ хвиля загасне в середовищі, вона багато разів збуджує датчик.

Таким чином, необхідно розуміти, що форма зареєстрованого сигналу є в значній мірі результатом хвильового поширення. Інші важливі аспекти поширення пов'язані з ефектом загасання, а також зі швидкістю поширення. Загасання визначається зниженням амплітуди сигналу в результаті геометричної розбіжності хвилі і наявності дисипації енергії хвилі в матеріалі [3]. Загасання впливає на можливість реєстрації і тому є важливим фактором, який необхідно враховувати при виборі відстаней між прийомними датчиками. Зазвичай, перш ніж проводити АЕ дослідження, на контрольованому об'єкті вимірюють функцію загасання, по якій визначають оптимальну відстань між датчиками.

Швидкість поширення хвилі є ще одним фактором, який необхідно враховувати при локації джерела методом АЕ.

Існує кілька основних принципів локації. Перш за все - це зонна локація, при якій джерела відносять до порівняно великим за площею зон (оточуючим певні датчики). Другий спосіб - точкова локація, при якій координати джерела розраховуються досить точно за допомогою різниць часу приходу (РЧП) сигналів на різні датчики, які об'єднані в антену. При розрахунках в формулу локації в якості параметра вводиться швидкість поширення хвилі. Точність, яка досягається в розрахунках контролюється цим параметром. Саме ці фактори сприяють неточності в оцінці швидкості поширення хвиль, що в свою чергу призводить до помилок визначення координат джерела. У сприятливих випадках похибка локації може досягати 1% від відстані між датчиками, в несприятливих - 10%.

У доповненні до вже перерахованих факторів істотний вплив на форму сигналу надає сам датчик. Коли ширококутовий сигнал емісії впливає на резонансний датчик, в результаті виходить ефект дзвіночка, який дзвенить на певній частоті, незалежно від способу свого збудження. Таким чином, на форму сигналу на виході датчика одночасно впливають багато чинників: шляхи поширення хвиль, наявність різних мод, що поширюються з різними швидкостями і ефект перетворення вхідного сигналу датчиком. Типовий сигнал емісії на виході резонансного датчика наведений на рис. 3; не можна не побачити величезної відмінності між цим сигналом, який спостерігається і найпростішим сигналом, що згенерований джерелом АЕ (рис.1).

Шляхом вибору резонансного датчика, що володіє заданими частотними властивостями, можна контролювати робочу смугу частот. Регулювання смуги частот є корисним інструментом, за допомогою якого можна з одного боку налаштовувати прилад на корисну частоту, а з іншого - збільшувати відношення сигнал / шум.

Сигнал з датчика надходить на попередній підсилювач, призначений для посилення

сигналу. Попередній підсилювач розташований поблизу або навіть всередині датчика з метою мінімізації електромагнітних наведень. Він володіє широким динамічним діапазоном і, посилюючи сигнал, створює можливість передачі його по довгих кабелях таким чином, що приймальна апаратура може розташовуватися на відстані в сотні метрів від місця проведення контролю.

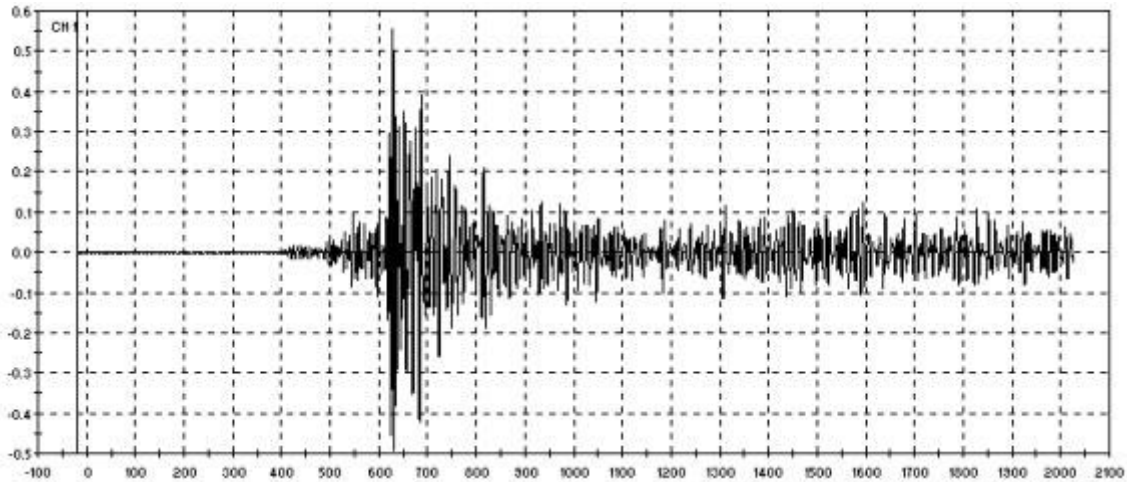


Рис. 3. Типовий імпульсний сигнал АЕ

Зазвичай попередній підсилювач має посилення 100 раз (40 дБ) і включає ФНЧ або смуговий фільтр для зниження механічних і акустичних фонових шумів, які переважають на низьких частотах. На низьких частотах з'являються проблеми, пов'язані з ростом механічних шумів, а високі частоти сильніше загасають, що призводить до зменшення відстані між датчиками. Таким чином, вибір робочої частоти обмежений зверху і знизу.

Попередні підсилювачі, як відомо, самі є джерелами електронного шуму, і саме цей шум визначає нижню межу застосовності методу АЕ. Мінімальний сигнал, який можна зареєструвати апаратурою, має порядок 10 мкВ на виході датчика.

Після того, як сигнал був прийнятий датчиком і підсилений попереднім підсилювачем, він надходить в основну систему, де знову посилюється і фільтрується. На наступному важливому етапі відбувається безпосередньо виділення сигналу. Етап закінчується тим, що коли сигнал перевищує встановлений поріг, в компараторному ланцюзі в цифровому вигляді генерується вихідний імпульс. Зв'язок між сигналом, порогом і імпульсом з компаратора проілюстрована на рис. 4. Рівень порога зазвичай регулюється оператором; цей параметр є ключовою змінною, яка визначає чутливість АЕ. Крім того, в залежності від типу АЕ обладнання, чутливість можна контролювати шляхом регулювання посилення основного підсилювача.

Найбільш простий і випробуваний спосіб оцінки активності емісії полягає в підрахунку числа осциляцій (counts) - числа перетинів імпульсом, виданими компаратором, встановленого порога. (рис.4).

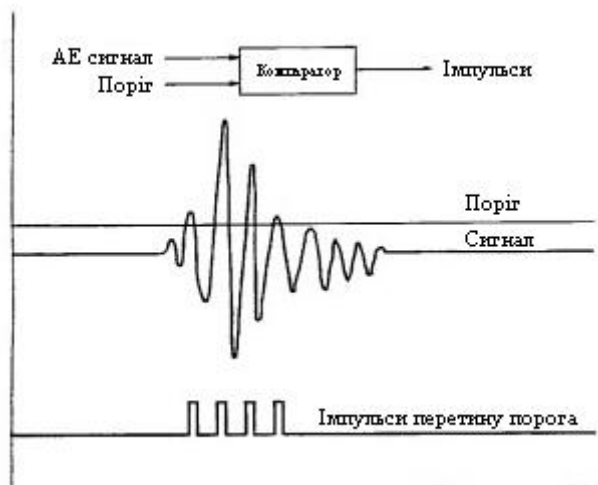


Рис. 4. Принцип реєстрації АЕ сигналу

Параметр осциляцій представляється у вигляді функції часу / навантаження. Це уявлення може носити характер накопиченого числа осциляцій від відповідного аргументу, або даватися в диференційному вигляді (гістограми).

Розвиток АЕ технології співпало з розвитком комп'ютерної техніки. Спочатку можливості комп'ютера використовувалися в багатоканальних АЕ системах, для вирішення завдання локації джерел сигналів, потім комп'ютери стали застосовуватися в ширших цілях: зберігання, аналіз і відображення даних. Одночасно персонал, який займається проведенням АЕ випробувань, почав цікавитися іншими параметрами емісії, крім осциляцій, які дозволяла отримувати АЕ апаратура. Це призвело до появи нових принципів розробки АЕ обладнання, які до сих пір є домінуючими в технології. Ці принципи полягають у вимірюванні основних параметрів кожного хіта або кожної події, що перевищує поріг. Після оцифровки інформація передається в комп'ютерну систему, що забезпечує зберігання, графічного представлення і подальшого аналізу даних.

Існує п'ять найбільш широко використовуваних параметрів. До них відносяться число осциляцій, амплітуда, тривалість, час наростання сигналу і площа під обвідною сигналу (MARSE), що представляє собою аналог енергії (рис.5). У деяких тестах використовується менша кількість параметрів, в інших - додаткові параметри, наприклад, реальна енергія, число осциляцій до пікової амплітуди, середня частота, спектральний момент.

При описі хіта крім параметрів сигналу в пам'ять комп'ютера записується також час реєстрації хіта і інформація про зовнішні параметри процесу, наприклад, поточне значення навантаження (деформації), число циклів при втомних випробуваннях, поточний рівень фоновому шуму і інші. Опис одного хіта зазвичай займає від 20 до 40 байт.

Амплітуда (A) являє собою максимальне значення напруги сигналу вимірюється в вольт. Цей найважливіший параметр визначає можливість реєстрації АЕ події. Амплітуди сигналів прямо пов'язані з магнітудою подій в джерелі і варіюються в широких межах від мікрвольт до вольт. Серед інших стандартних параметрів, амплітуда є найбільш придатною для проведення статистичної обробки даних АЕ шляхом отримання функцій розподілу процесу [3, 4]. Число осциляцій є число перевищень сигналом встановленого порога. Вимірювання числа осциляцій є простим способом кількісної оцінки сигналу. Цей параметр залежить від магнітуди джерела сигналів, а також від акустичних та резонансних властивостей середовища і датчика.

MARSE - параметр, відомий також як число осциляцій енергії, обчислюється по площі під обвідною сигналу. Параметр MARSE є чутливим і до амплітуди, і до тривалості сигналу, тому він став дуже поширеним. Крім того, він менш залежний від встановленого порога і робочої частоти. Сумарна АЕ активність повинна вимірюватися шляхом підсумовування магнітуд всіх зареєстрованих сигналів; серед всіх вимірюваних параметрів, MARSE найкращим чином підходить для цих цілей.

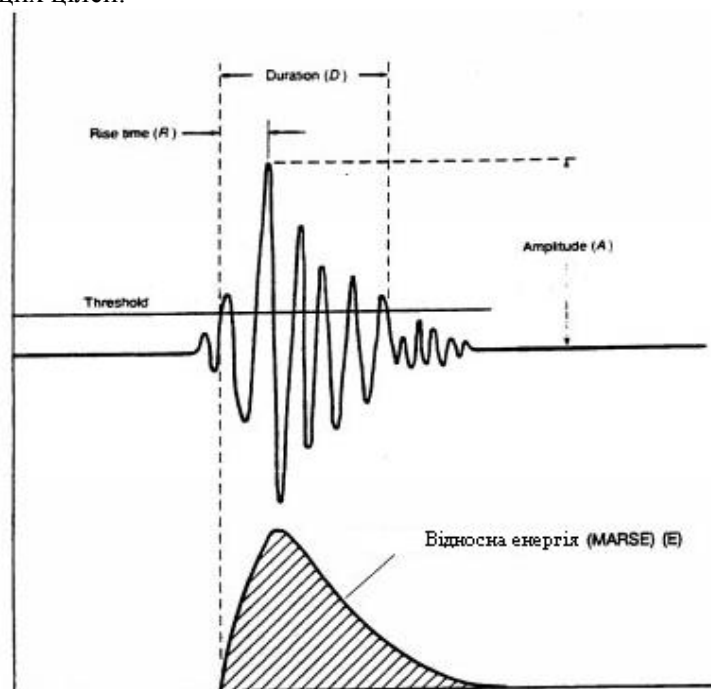


Рис. 5. Стандартний набір параметрів, що вимірюються системою

Тривалість (D) - це повний час, який починається від перетину сигналом порогу, закінчується відходом його під поріг. Вимірюваний в мікросекундах, цей параметр залежить від магнітуди джерела, а також акустичних і резонансних властивостей середовища і датчика (як і число осциляцій). Параметр використовується при ідентифікації процесів, що мають характерні великі тривалості сигналів. Крім того, даний параметр є корисним при відфільтровування різних шумів (по тривалості) або інших типів джерел.

Час наростання сигналу (R) - це час від першого перетину сигналом порогу до досягнення максимальної амплітуди сигналом. Даний параметр в сильному ступені залежить від функції поширення і передавальних властивостей датчика. Він може використовуватися для визначення типу деяких джерел сигналів і при відфільтровування шумів.

АЕ система інформаційно-діагностичного супроводу технологічного процесу, яка базується на використанні розвинуеного програмного забезпечення, дозволяє одержувати велику кількість типів графіків. Оператор не обмежений у виборі способів графічного відображення даних під час збору, оскільки після проведення післятестової обробки результати експресному обробки можуть бути переглянуті, відфільтровані і відображені в іншому вигляді.

Існують наступні способи відображення:

- "Історичний" графік, що відображає весь процес випробувань від початку до кінця в залежності від часу.
- Функції розподілу, призначені для демонстрації статистичних властивостей сигналів емісії.
- Графіки по окремих каналах, що показують розподілу сигналів по каналах.
- Графіки локації для відображення розташування джерел сигналів.
- Точкові графіки кореляції межу різними АЕ параметрами.
- Діагностичні діаграми, що демонструють ступінь небезпеки різних частин конструкції (відповідно до результатів АЕ аналізу).

Деякі з цих найбільш поширених типів графіків проілюстровані на рис.6.

На рис.6,а і 6,б відображені відповідно кумулятивний і диференційний історичні графіки АЕ - графіки залежності АЕ від часу. Кумулятивний графік більш зручний для оцінки загальної емісії (в кількісному вигляді), в той час як диференційний графік підкреслює ті зміни в активності, які відбувалися протягом тесту.

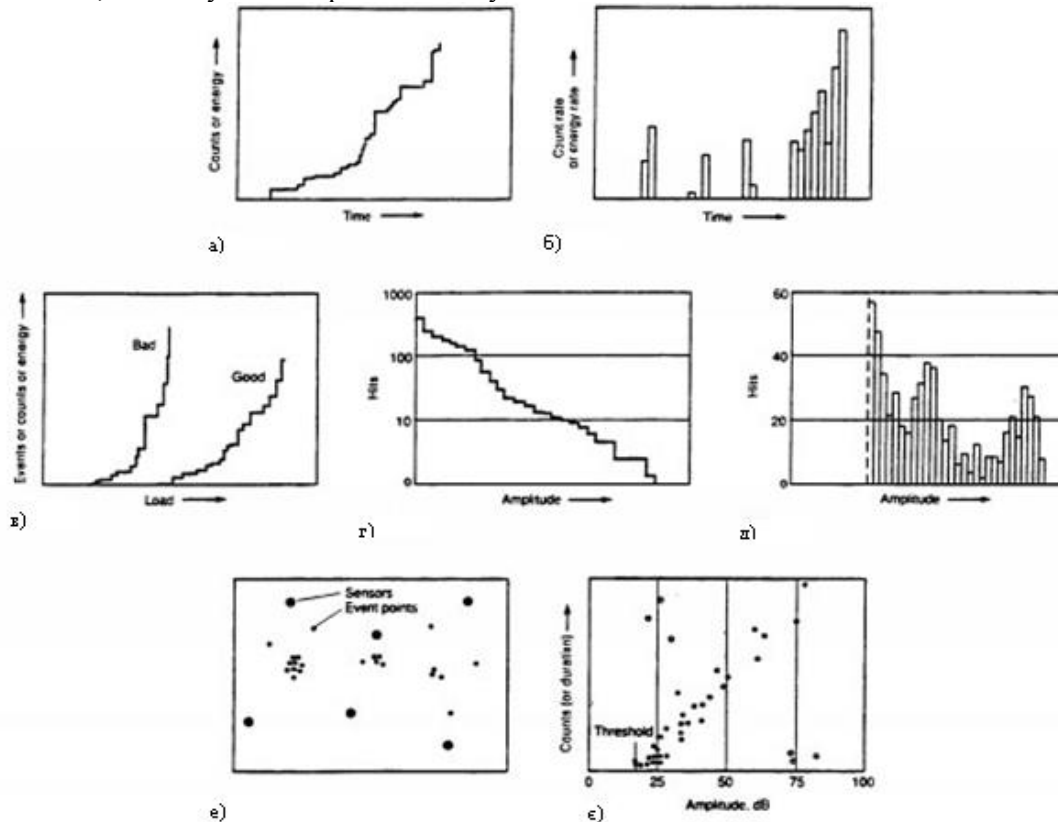


Рис. 6. Типове представлення даних АЕ: а – історичний графік кумулятивного рахунку або енергії, б – історичний графік швидкості рахунку (енергії), в – історичний графік даних АЕ (від навантаження), г – кумулятивний амплітудний розподіл, д – диференційний амплітудний розподіл (щільність розподілу), е – локація джерел на площині, є – точковий графік кореляції – залежність осциляцій (тривалості сигналу) від амплітуди.

На рис.6,в представлений історичний графік АЕ даних від навантаження. Цей графік вважається найбільш фундаментальним, тому що він безпосередньо пов'язує причину із слідством при випромінюванні емісії під час навантаження. Даний тип графіків є особливо корисним при відділенні "хорошої" частини графіка від "поганої". Зазвичай "погана" частина характеризується початком генерації АЕ сигналів вже на малих рівнях навантаження і наявністю великої кількості емісії, пов'язаного, як правило, з перешкодами від навантажувального пристрою.

На рис.6,є представлений точковий графік числа осциляцій (або тривалості) від амплітуди. Кожен хіт на цьому графіку представлений у вигляді окремої точки, положення якої несе інформацію про розмір і форму сигналу. Цей тип графіків використовується для якісної оцінки джерела, в тому числі для ідентифікації деяких найбільш часто зустрічаються типів небажаних шумів [4, 5]. Зазвичай сигнали емісії від "корисних" джерел формують на даному графіку кластер, який витягнутий в діагональному напрямку. Сигнали завад (наприклад, від електромагнітних наведень) розташовуються нижче цього кластера (на рис.6,є вони представлені у вигляді круглої ділянки в нижній правій частині графіка), оскільки вони мають малу тривалість, що не збільшується за рахунок відображень. Шумові сигнали від таких джерел розташовуються вище діагонального кластера (на рис.6,є вони представлені у вигляді круглої ділянки у верхній лівій частині графіка), оскільки вони мають малі амплітуди і великі тривалості. Це лише один з багатьох графіків, який демонструє широкі можливості АЕ методу діагностики.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що використання сигналу акустичної емісії для інформаційно-діагностичного супроводу технологічного процесу. Зокрема, акустична емісія може ефективно застосовуватися для контролю операцій токарного, шліфувального оброблення, для діагностування стану ріжучого інструменту, для підвищення ефективності правки шліфувальних кругів. Але під час використання акустичної емісії необхідно фільтрувати шумові сигнали, які виникають під час роботи виробничого обладнання.

Інформаційні джерела

1. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.
2. Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В.Грешников, Ю.Дробот -М.: Изд-во стандартов, 1976.-276.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. Клюева В.В. Т.7: в 2 кн. Кн.1: Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 2005. - 829 с.
4. Acoustic emission/ microseismic activity. Volume 1. Principles, Techniques, and Geotechnical Applications H. Reginald Hardy, Jr. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA
5. Kek T., Grum J. Assessment of laser cutting quality using acoustic emission signals // Application of Contemporary Non-Destructive Testing in 121 Engineering: The 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing. Ljubljana. Slovenia. 2009. P. 325-332.
6. Sotirios J. Vahaviolos (1999). Acoustic Emission: Standards and Technology Update. STP-1353. Philadelphia, PA: ASTM International (publishing).

Мороз С.А., к.т.н. Петрук О.В., Петрук И.В.

Луцкий национальный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

В статье проведен анализ метода акустической эмиссии, на основании исследования образования, распространения и составляющих самого информационного сигнала. Рассмотрено формирование простейшего типа волны от акустически-эмиссионного источника, и изменение ее формы при распространении в среде материала и при преобразовании датчиком. Приведены основные причины от которых зависит форма зарегистрированного сигнала. Установлено элементы информационно-диагностической системы, которые создают акустические шумы. Рассмотрены составляющие параметры информационного сигнала акустической эмиссии и дано характеристика их для конкретных целей измерения. Приведены основные способы отображения информационных параметров акустической эмиссии и приведены их примеры. Сформированы рекомендации и выводы по

применению сигналов акустической эмиссии для информационно-диагностического сопровождения технологических процессов.

Ключевые слова: *информационный сигнал, акустическая эмиссия, параметры сигнала.*

S. Moroz, O. Petruk, I. Petruk

Lutsk national technical University

**FEATURES OF APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS FOR
INFORMATION AND DIAGNOSTIC SUPPORT OF TECHNOLOGICAL PROCESS.**

The article analyzes the method acoustic emission, based on the study o the formation, distribution and components of the information signal itself. The formation of the simplest type of wave from an acoustic-emission source is considered, and its shape is changed when propagating in a material medium and under transformation by a sensor. The main reasons on which the form of the detected signal depends are given. The elements of the information-diagnostic system that create acoustic noises are established. The constituent parameters of the information signal of acoustic emission are considered and their characteristics are given for specific measurement purposes. The main methods for displaying information parameters of acoustic emission are given and their examples are given. The recommendations and conclusions on the application of acoustic emission signals for information and diagnostic support of technological processes are formed.

Key words: *information signal, acoustic emission, signal parameters.*

РОЛЬ РЕЖУЩЕГО РЕЛЬЕФА АЛМАЗНОГО КРУГА В ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ И СНИЖЕНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСХОДА АЛМАЗА

Проведен теоретический анализ условий повышения производительности обработки и снижения относительного расхода алмаза для различных кинематических схем алмазного шлифования материалов повышенной твердости, включая схемы круглого наружного, внутреннего и плоского шлифования с продольной и радиальной подачами. Определены оптимальные параметры режима шлифования с учетом изменения параметров режущего рельефа алмазного круга в результате износа алмазных зерен. Теоретически установлено наличие экстремума (минимума) относительного расхода алмаза от параметров режима шлифования и определено экстремальное значение обобщенного параметра шлифования, учитывающего степень износа алмазных зерен до момента их объемного разрушения и выпадения из связки круга или преждевременного выпадения из связки круга без разрушения. Показано его преобладающее влияние на производительность обработки и относительный расход алмаза. Аналитически установлено, что основным условием существенного повышения производительности обработки является поддержание на рабочей поверхности алмазного круга высокоразвитого режущего рельефа, характеризующегося высокой остротой режущих алмазных зерен. Показана эффективность применения глубинного шлифования и электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках.

Ключевые слова: алмазное шлифование, материалы повышенной твердости, производительность обработки, относительный расход алмаза, режущий рельеф алмазного круга.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами. Основным направлением эффективного применения алмазного шлифования является обработка изделий, изготовленных из металлических и неметаллических материалов повышенной твердости (твердые сплавы, износостойкие наплавки и покрытия, алмазы, керамики и ферриты, техническое стекло, хрусталь и др.). Благодаря высокой остроте и износостойкости режущих кромок алмазных зерен круга достигается снижение силовой и тепловой напряженностей процесса резания, повышение качества и производительности обработки. Причем, обработку, например, твердых сплавов можно производить на операциях как окончательного, так и предварительного алмазного шлифования, исключая из технологического процесса операции шлифования обычными абразивными кругами, характеризующимися относительно низкими показателями качества и точности обрабатываемых поверхностей. В настоящее время накоплен значительный опыт практического использования алмазного шлифования в промышленности. Однако с появлением новых труднообрабатываемых материалов возникают проблемы повышения производительности и качества их обработки. Поэтому важно и актуально дальнейшее определение наиболее эффективных условий повышения технико-экономических показателей алмазного шлифования и их применение в производстве. Исследования выполнены в соответствии с тематическими планами научно-практических работ Харьковского национального экономического университета имени Семена Кузнеця и ООО «Империя металлов» (г. Харьков).

Анализ последних достижений и публикаций. В многочисленных исследованиях [1-3], посвященных повышению производительности, качества обработки и снижению износа алмазного круга при алмазном шлифовании, определены рациональные параметры обработки и характеристики алмазных кругов для конкретных обрабатываемых материалов. Это позволило решить важные практические задачи обработки различных металлических и неметаллических материалов повышенной твердости. Однако, полученные результаты справедливы в основном для частных случаев обработки, так как основаны на экспериментальных исследованиях алмазного шлифования. В связи с этим важно установить более общие теоретические решения, охватывающие широкие диапазоны изменения основных параметров алмазного шлифования, что позволит расширить его технологические возможности при практическом использовании

на операциях металлообработки. Для этого следует разработать теоретические решения, приведенные в работах [4, 5], посвященные аналитическому описанию производительности обработки и относительного расхода алмаза и на их основе провести оптимизацию параметров алмазного шлифования.

Цель работы – определение условий повышения производительности обработки и снижения относительного расхода алмаза при алмазном шлифовании материалов повышенной твердости.

Материалы исследований. Рассмотрим расчетную схему процесса шлифования, согласно которой обрабатываемый прямолинейный образец движется с постоянной скоростью $V'_{дет}$ по нормали к торцу круга (рис. 1). В результате взаимодействия режущих зерен круга с образцом, полный сьем подводимого в зону резания материала производится на уровне H , определяемом зависимостью [1]:

$$H = \sqrt[3]{\frac{9b \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}}, \quad (1)$$

где b – исходная максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга, м; k – поверхностная концентрация зерен круга, шт./м²; 2γ – угол при вершине конусообразного зерна; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $\eta = 0 \dots 1$ – безразмерный коэффициент, определяющий степень затупления зерен (для острого зерна – $\eta = 0$, для затупленного зерна $\eta \rightarrow 1$); Δ – высота межзеренного пространства круга, занимаемая стружками и другими продуктами обработки (рис. 1).

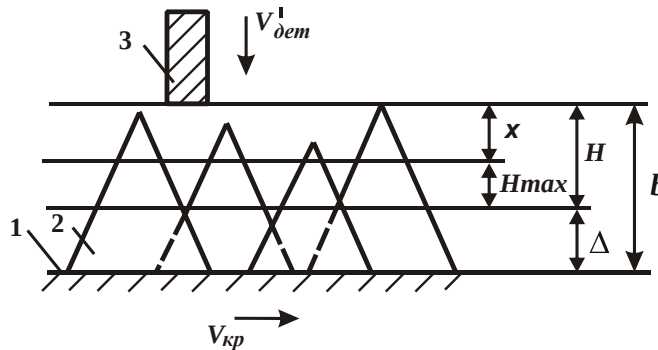


Рис. 1. Расчетная схема параметров процесса шлифования: 1 – уровень связки; 2 – режущее зерно; 3 – обрабатываемый образец

Следуя зависимости (1), с увеличением безразмерного коэффициента η , т.е. по мере затупления зерен, глубина внедрения обрабатываемого материала H в рабочую поверхность круга увеличивается и при определенном значении η обрабатываемый материал начнет контактировать со связкой круга. Это приведет или к интенсивному разрушению связки и обновлению рабочей поверхности круга за счет выпадения их из связки, или к вдавливанию образующихся стружек в связку, засаливанию круга и потере его режущей способности. Первый случай возможен при шлифовании алмазными кругами на относительно малопрочных органических и керамических связках, которые, как правило, работают в режиме самозатачивания, характеризующегося равномерным во времени износом. Второй случай возможен при шлифовании алмазными кругами на прочных связках, например металлических, которые не склонны к самозатачиванию, быстро затупляются и засаливаются и их необходимо править.

Таким образом, для нормальной работы алмазного круга необходимо в процессе шлифования управлять параметром H , обеспечивая полный сьем подводимого в зону резания материала на уровне $H \leq b$. Рассмотрим предельный случай $H = b$ с точки зрения анализа закономерностей изменения безразмерного коэффициента η . Для этого представим зависимость (1) в виде:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{9 \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot b^2}}. \quad (2)$$

Как видно, чем больше $V'_{дет}$ и меньше k , $V_{кр}$, b , тем меньше безразмерный коэффициент η , т.е. тем меньше величина линейного износа зерна x и больше высота его выступания над

уровнем связки круга b . В этом случае для полного съема подводимого в зону резания материала необходимо иметь более полный (острый) режущий рельеф алмазного круга. Этим показано, что для каждого режима шлифования, каждой характеристики алмазного круга существует вполне конкретное значение η , которое определяет состояние режущего рельефа круга. Для эффективного ведения процесса шлифования данное значение η должно быть неизменным с течением времени обработки. Это достигается или режимом самозатачивания алмазного круга, или режимом его принудительной непрерывной правки (когда энергии трения обрабатываемого материала со связкой недостаточно для ее разрушения с интенсивностью, равной скорости износа зерен).

Установим производительность обработки $Q = S \cdot V'_{\text{дем}}$ с учетом параметров режущего рельефа алмазного круга η и b . Для этого разрешим зависимость (2) относительно:

$$Q = \frac{S \cdot b^2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot (1 - \eta^2)}{9}, \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения обрабатываемого образца, м^2 .

Из зависимости (3) следует, что основными условиями увеличения производительности обработки Q являются увеличение максимальной высоты выступания зерен b и уменьшение безразмерного коэффициента $\eta \rightarrow 0$, так как эти параметры входят в зависимость с наибольшей степенью. Зависимость (3) справедлива для шлифования по жесткой и упругой схемам.

Преобразуем зависимость (3) с учетом соотношений [6]: $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$; $k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}$:

$$Q = \frac{S \cdot \text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot (1 - \eta^2)}{600 \cdot \pi}, \quad (4)$$

где $\bar{X}$ – зернистость алмазного круга, м ; m – объемная концентрация зерен круга; $(1 - \varepsilon)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень выступания зерен над уровнем связки ($\varepsilon < 1$).

В общем случае производительность обработки Q не зависит от зернистости алмазного круга $\bar{X}$, а определяется безразмерным коэффициентом ε : чем он меньше ε , тем больше Q . Уменьшить безразмерный коэффициент ε можно, применяя высокопрочные металлические связки, металлизированные алмазные зерна и т.д.

Применительно к круглому наружному, внутреннему и плоскому шлифованию периферией круга с фиксированной глубиной шлифования зависимости (1) – (3) видоизменяются:

$$H = \sqrt[3]{\frac{9b \cdot V_{\text{дем}} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot (1 - \eta^2)}}; \quad (5)$$

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{9 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot b^2}}; \quad (6)$$

$$Q = S_0 \cdot V_{\text{дем}} \cdot t = \frac{S_0 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot k^2 \cdot b^4 \cdot V_{\text{кр}}^2 \cdot (1 - \eta^2)^2}{162 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \rho}, \quad (7)$$

где $V_{\text{дем}}$ – скорость вращения детали, м/с ; $\rho = 1/R_{\text{кр}} + 1/R_{\text{дем}}$; $R_{\text{кр}}$, $R_{\text{дем}}$ – радиусы круга и детали, м ; S_0 – продольная подача, м/об .

По сравнению с торцовым шлифованием производительность обработки Q при шлифовании периферией круга в большей степени зависит от параметров η и b , что указывает на эффективность управления режущим рельефом круга. Наряду с увеличением параметров k и $V_{\text{кр}}$, добиться увеличения производительности обработки Q можно путем уменьшения $V_{\text{дем}}$, а в соответствии с зависимостью (6) – увеличением глубины шлифования t . Чем меньше $V_{\text{дем}}$, тем значительно может быть увеличена глубина шлифования t при условии $\eta = \text{const}$ и тем больше производительность обработки, т.е. вторым по значимости условием увеличения Q

необходимо рассматривать применение глубинного шлифования с весьма небольшой скоростью вращения детали $V_{\text{дем}}$.

Зависимость (6) может быть представлена

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{9 \cdot \sqrt{2 \cdot V_{\text{дем}} \cdot Q \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot b^2 \cdot \sqrt{S_0}}} \quad (8)$$

Учитывая то, что уменьшение $V_{\text{дем}}$ ограничено, рост производительности обработки Q также ограничен условием $0 < \eta < 1$. Поэтому добиться увеличения производительности глубинного шлифования (т.е. увеличения числителя подкоренного выражения) можно за счет увеличения знаменателя и, в первую очередь, параметра b , входящего в зависимость (8) с максимальной степенью. Следовательно, для реализации высокопроизводительного глубинного шлифования необходимо использовать прочные алмазные круги со значительным выступанием зерен над уровнем связки. Увеличить производительность обработки Q можно также за счет увеличения скорости круга $V_{\text{кр}}$, причем значительного увеличения, соизмеримого с увеличением множителя b^2 (например, применение сверхвысокоскоростного шлифования увеличивает $V_{\text{кр}}$ до значений 300 м/с).

Рассмотрим шлифование периферией круга с непрерывной поперечной подачей. Примем, что за время τ , равное одному обороту детали, алмазный круг в радиальном к детали направлении переместится на величину $t = S_{\text{нон}} \cdot \tau$, где $S_{\text{нон}}$ – поперечная подача, м/с. Учитывая, что

$\tau = \pi \cdot D_{\text{дем}} / V_{\text{дем}}$ глубина шлифования выразится: $t = S_{\text{нон}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{дем}}}{V_{\text{дем}}}$, где $D_{\text{дем}}$ – диаметр

детали, м. Тогда зависимости (5) – (7) выразятся:

$$H = \sqrt[3]{\frac{9b \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot S_{\text{нон}} \cdot V_{\text{дем}} \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot (1 - \eta^2)}}; \quad (9)$$

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{9 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}} \cdot b^2}}; \quad (10)$$

$$Q = \pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot S_0 \cdot S_{\text{нон}} = \frac{S_0 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot k^2 \cdot b^4 \cdot V_{\text{кр}}^2 \cdot (1 - \eta^2)^2}{162 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \rho}. \quad (11)$$

В данном случае скорость детали $V_{\text{дем}}$ непосредственно не определяет расчетную производительность обработки, равную $Q = \pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot S_0 \cdot S_{\text{нон}}$. Ее роль, аналогично скорости круга $V_{\text{кр}}$ состоит в изменении количества работающих зерен, что проявляется в изменении параметров H и η . Как видно, зависимости (7) и (11) идентичны, т.е. добиться увеличения производительности обработки Q можно увеличением параметров S_0 , b , k , $V_{\text{кр}}$ и уменьшением η и $V_{\text{дем}}$. Чем больше $S_{\text{нон}}$ и меньше $V_{\text{дем}}$ при условии $\eta = \text{const}$, тем больше Q и выше эффективность шлифования. Для реализации более высоких значений $S_{\text{нон}}$, следуя зависимости (10), необходимо увеличивать параметр b , используя оптимальные характеристики алмазных кругов и эффективные методы их правки. С учетом соотношений [6] для определения параметров b и k зависимость (11) примет вид:

$$Q = \frac{S_0 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot k^2 \cdot V_{\text{кр}}^2 \cdot (1 - \varepsilon)^6 \cdot (1 - \eta^2)^2}{72 \cdot 10^4 \cdot \pi^2 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \rho}. \quad (12)$$

Как и в аналогичной зависимости (4), наибольшее влияние на производительность обработки Q оказывает безразмерный коэффициент $(1 - \varepsilon)$, что свидетельствует об эффективности управления высотой выступления зерен над уровнем связки круга.

Произведем расчет и анализ относительного расхода алмаза. В общем виде аналитическая зависимость для определения относительного расхода алмаза q (мг/г) приведена в работе [4]:

$$q = \frac{10^3 \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot \Delta_l \cdot V_{кр}}{\rho_m \cdot V_{дем} \cdot t \cdot \eta}, \quad (13)$$

где ρ_a , ρ_m – плотности алмаза и обрабатываемого материала, кг/м³; α – коэффициент, учитывающий плотность связки в зависимости от концентрации алмазных зерен в круге; Δ_l – линейный износ зерна за одно касание с обрабатываемым материалом, м.

С учетом производительности обработки $Q = S_0 \cdot V_{дем} \cdot t$ зависимость (13) видоизменится:

$$q = \frac{10^3 \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot \Delta_l \cdot V_{кр} \cdot S_0}{\rho_m \cdot Q \cdot \eta}. \quad (14)$$

При фиксированных значениях $V_{кр}$, S_0 и Q с увеличением безразмерного коэффициента η , т.е. по мере затупления зерен круга, относительный расход алмаза уменьшается. Это будет иметь место до тех пор, пока параметр H , определяемый зависимостью (1), не станет равным максимальной высоте выступания зерен над уровнем связки $H = b$. После чего, с увеличением η (вследствие неполного съема подводимого в зону резания материала) производительность обработки Q начнет уменьшаться и при условии $\eta \rightarrow 1$ будет стремиться к нулю ($Q \rightarrow 0$). Исходя из этого, относительный расход алмаза q после превышения определенного значения η начнет увеличиваться и при $Q \rightarrow 0$ будет стремиться к бесконечности ($q \rightarrow \infty$). Этим показано, что в общем случае зависимость q от η носит экстремальный характер (проходит точку минимума).

Установленная зависимость позволяет объяснить противоречивые экспериментальные данные о характере изменения относительного расхода алмаза, которые приведены в многочисленных публикациях. Например, известны зависимости относительного расхода алмаза q от времени шлифования, когда q или уменьшается, или возрастает, или проходит точку минимума. Исходя из зависимости (14), непрерывное уменьшение q с течением времени шлифования свидетельствует о том, что параметр $H < b$, т.е. высота режущего рельефа круга достаточно для полного съема подводимого в зону резания материала (фактическая глубина шлифования примерно равна номинальной глубине шлифования). Производительность обработки Q в данном случае с течением времени остается приблизительно постоянной, а увеличивается безразмерный коэффициент η , который и приводит к уменьшению относительного расхода алмаза. В случае, если высоты режущего профиля алмазного круга недостаточно для полного съема подводимого в зону резания материала, т.е. $H < b$, то производительность обработки с течением времени шлифования будет уменьшаться, что приведет к увеличению относительного расхода алмаза.

Третий случай, когда относительный расход алмаза изменяется по экстремальной зависимости, обусловлен изменением параметра H от значений $H < b$ до значений $H > b$.

С учетом зависимости (12) зависимость (14), примет вид:

$$q = \frac{4 \cdot 10^8 \cdot \pi^2 \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot \Delta_l \cdot \rho \cdot V_{дем}}{\rho_m \cdot \text{tg} \gamma \cdot m^2 \cdot (1 - \varepsilon)^6 \cdot V_{кр} \cdot \eta \cdot (1 - \eta^2)^2}. \quad (15)$$

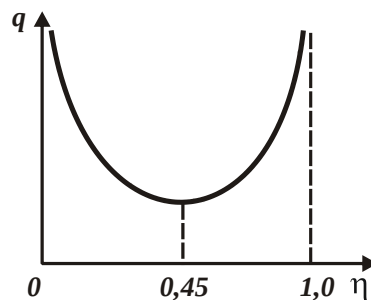


Рис. 2. Расчетная зависимость удельного расхода алмаза q от безразмерного коэффициента η

При изменении безразмерного коэффициента η в пределах 0 ... 1 относительный расход алмаза q изменяется по экстремальной зависимости, т.е. при условиях $\eta = 0$ и $\eta = 1$

относительный расход алмаза $q \rightarrow \infty$ (рис. 2). Для определения экстремального значения безразмерного коэффициента η следует подчинить функцию q необходимому условию экстремума: $q'_\eta = 0$, в результате получено: $\eta_{\text{экстр}} = 0,45$.

Таким образом установлено, что существует оптимальное значение безразмерного коэффициента η , определяющее оптимальный режущий рельеф алмазного круга. Очевидно, для поддержания в процессе шлифования оптимального значения η необходимо использовать алмазные круги, работающие в режиме самозатачивания, или методы электрофизикохимической правки алмазных кругов на металлических связках.

Выводы. Проведен теоретический анализ условий повышения производительности обработки и снижения относительного расхода алмаза для различных кинематических схем алмазного шлифования материалов повышенной твердости, включая схемы круглого наружного, внутреннего и плоского шлифования с продольной и радиальной подачами. Определены оптимальные параметры режима шлифования с учетом изменения параметров режущего рельефа алмазного круга в результате износа алмазных зерен. Теоретически установлено наличие экстремума (минимума) относительного расхода алмаза от параметров режима шлифования и определено экстремальное значение обобщенного параметра шлифования, учитывающего степень износа алмазных зерен до момента их объемного разрушения и выпадения из связки круга или преждевременного выпадения из связки круга без разрушения. Показана эффективность применения глубинного шлифования и электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках.

Перспективы дальнейшей работы в данном направлении. В дальнейшей работе необходимо провести многопараметрическую оптимизацию алмазного шлифования, рассматривая в качестве критериев оптимизации наибольшую производительность обработки и наименьшую себестоимость обработки, а в качестве основных технологических ограничений – параметры качества и точности обрабатываемых поверхностей, мощность шлифовального станка.

Информационные источники

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И.П. Захаренко. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с.
2. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
3. Лавриненко В.И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография / В.И. Лавриненко, В.Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
5. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування: монографія / Ф. В. Новіков. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.
6. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

¹Новіков Ф.В., д.т.н. ²Полянський В.І., к.т.н.

¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

²ТОВ «Імперія металів», м. Харків

РОЛЬ РІЗУЧОГО РЕЛЬЄФУ АЛМАЗНОГО КРУГА В ПІДВИЩЕННІ ПРОДУКТИВНОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ТА ЗНИЖЕННІ ВІДНОСНОЇ ВИТРАТИ АЛМАЗУ

Проведено теоретичний аналіз умов підвищення продуктивності обробки та зниження відносної витрати алмазу для різних кінематичних схем алмазного шліфування матеріалів підвищеної твердості, включаючи схеми круглого зовнішнього, внутрішнього і плоского шліфування з поздовжньою і радіальною подачами. Визначено оптимальні параметри режиму шліфування з урахуванням зміни параметрів ріжучого рельєфу алмазного круга в результаті зносу алмазних зерен. Теоретично встановлено наявність екстремуму (мінімуму) відносної витрати алмазу від параметрів режиму шліфування і визначено екстремальне значення узагальненого параметра шліфування, що враховує ступінь зносу алмазних зерен до моменту їх об'ємного руйнування і випадіння зі зв'язки круга або передчасного випадіння зі зв'язки круга без

руйнування. Показано його переважний вплив на продуктивність обробки і відносну витрату алмазу. Аналітично встановлено, що основною умовою суттєвого підвищення продуктивності обробки є підтримка на робочій поверхні алмазного круга високорозвиненого ріжучого рельєфу, що характеризується високою гостротою ріжучих алмазних зерен. Показана ефективність застосування глибокого шліфування та електрофізикохімічних методів правки алмазних кругів на металевих зв'язках.

Ключові слова: алмазне шліфування, матеріали підвищеної твердості, продуктивність обробки, відносна витрата алмазу, ріжучий рельєф алмазного круга.

F.¹Novikov, V.²Polyansky

¹Kharkiv National University named after Semyon Kuznets

²LLC "Empire of metals", Kharkiv

THE ROLE OF THE CUTTING DIAMOND CIRCUM RELAX IN IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF DIAMOND GRINDING AND REDUCING THE RELATIVE EXPENSE OF DIAMOND

Theoretical analysis of the conditions for increasing the processing capacity and reducing the relative diamond consumption for various kinematic schemes of diamond grinding of materials of increased hardness, including round external, internal and planar grinding schemes with longitudinal and radial feeds. The optimal parameters of the grinding mode are determined taking into account the change in the parameters of the diamond diamond's cutting relief as a result of wear of diamond grains. The presence of an extremum (minimum) of the relative diamond consumption from the parameters of the grinding mode is theoretically determined and the extreme value of the generalized grinding parameter, taking into account the degree of wear of diamond grains before the moment of their volumetric destruction and loss from the ligament of the circle or premature loss from the ligament of the circle without destruction, is determined. It shows its predominant influence on the processing capacity and the relative consumption of diamond. It has been analytically established that the main condition for a significant increase in processing efficiency is the maintenance on the working surface of the diamond circle of a highly developed cutting relief characterized by high sharpness of cutting diamond grains. The effectiveness of the application of deep grinding and electrophysico-chemical methods for straightening diamond circles on metal bonds has been shown.

Key words: diamond grinding, materials of increased hardness, processing capacity, relative diamond consumption, diamond diamond cutting.

**ОТРИМАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ
РОЗРІЗАННІ НАВПІЛ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН**

У ході даної роботи було проведене ортогональне центральне композиційне планування з ядром у виді повного факторного експерименту та проведені дослідження процесу обробки різанням зношеної пневматичної шини Bridgestone розміром 7.1/11.0-5, за допомогою ріжучого інструменту зі сплавів марок Р6М5 і Т15К6, в результаті якого був отриманий масив даних – приведених сил різання. Використавши створену матрицю планування повного факторного експерименту та отриманий у ході дослідження масив даних, з використанням програми Microsoft Excel 2013, були розраховані коефіцієнти регресії, котрі лягли в основу математичної моделі у вигляді поліному другого порядку. Створена математична модель виражає залежність сил різання від сукупності геометричних параметрів і твердості матеріалу ріжучого інструменту та режимних параметрів обробки різанням, відповідно, за її допомогою можна визначити сукупність оптимальних геометричних параметрів і матеріалу ріжучого інструменту та режимних параметрів, які будуть забезпечувати мінімізацію сил різання, а отже, і енерговитрат на процес різання загалом.

Ключові слова: повний факторний експеримент, математична модель, ріжучий інструмент, сили різання, пневматична шина, утилізація шин, попереднє подрібнення шин, обробка різанням гуми.

Постановка проблеми. Процес утилізації зношених пневматичних шин включає стадію попереднього подрібнення, яка складається з двох операцій: розрізання шин напів уздовж бігової доріжки та вирізання бортових кілець [1]. Правильний вибір сукупності оптимальних геометричних параметрів та матеріалу ріжучого інструменту, оптимальних режимних параметрів процесу обробки різанням має зробити процес різання максимально енергоефективним, а ріжучий інструмент максимально довговічним, що, в свою чергу, впливає на загальну ефективність та економічну доцільність попереднього подрібнення шин обробкою різанням. Значною проблемою є складність математичного моделювання процесу різання шин, оскільки існує велика кількість взаємовпливаючих параметрів ріжучого інструменту і процесу обробки, а також різноманітні властивості шини (пола форма, велика механічна зносостійкість, пружні властивості матеріалу, наявність металічного кордуну та текстилевих волокон, хімічний склад гуми, тощо), що зумовлює труднощі та нестабільність обробки [2]. Саме цим можна пояснити невелику кількість публікацій присвячених цьому питанню, та неоднозначність їх висновків.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показав відсутність публікацій, які безпосередньо відносяться до проблеми створення математичної моделі формування сил різання при обробці різанням зношених пневматичних шин, натомість, існує низка робіт, які опосередковано стосуються даного питання. Створенням математичної моделі формування сил різання при фрезерній обробці зношених шин займалися Козарь Д.М і Крауиньш П.Я. [2], дослідженням процесу токарної обробки гумованих валів займалися Мкртчян А.Ф., Музафаров Р.С. [3], дослідженнями впливу геометрії та матеріалу ріжучого інструмента на сили різання при розрізанні зношених пневматичних шин - Коржавін Ю.А., Сичов С.Ю., Сасов О.О., Коробочка О.М., Скорняков Е.С [4], [5], [6], питанням планування експерименту при пошуку оптимальних умов займалися Адлер Ю.П., Маркова Ю.В., Грановський Ю.В. [6].

Мета роботи. Побудувати ортогональний центральний композиційний план другого порядку і провести експеримент з вивчення впливу геометричних параметрів і матеріалу ріжучого інструменту та режимних параметрів обробки на формування сил різання. Засновуючись на отриманому масиві даних побудувати математичну модель формування сил різання в залежності від впливу вищезазначених факторів.

Матеріали досліджень. На першому етапі даної роботи за допомогою САПР КОМПАС-3D V16 була створена схема розташування приведених сил різання по координатних осях (рис.1). В даному випадку, в процесі різання відсутня поздовжня подача, тож можна вважати, що усі сили діють в одній площині. Було обрано $k = 6$ критеріїв для оптимізації – кути ріжучого

інструменту: γ , ε , α ; твердість ріжучого інструменту: HRA; режимні параметри процесу різання: n , S_p .

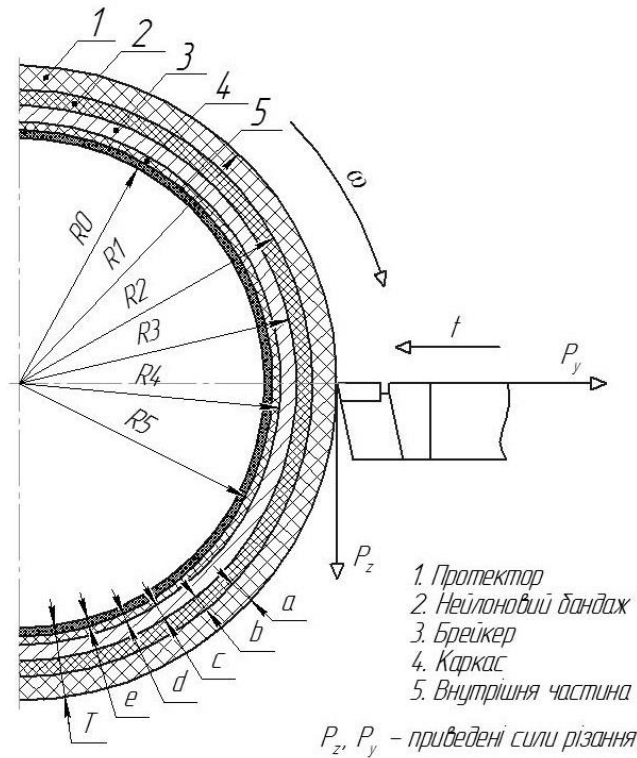


Рис. 1. Схема розташування приведених сил різання по координатних осях

На другому етапі значення факторів було закодовано шляхом лінійного перетворення координат факторного простору з переносом початку координат в нульову точку та вибором масштабів по осям у одиницях інтервалів варіювання факторів.

$$x_i = \frac{c_i - c_{0i}}{\Delta c},$$

де x_i – кодоване значення фактору (безрозмірна величина); $c_i - c_{0i}$ – натуральне значення фактору (відповідно поточне і на нульовому рівні); Δc – натуральне значення інтервалу варіювання [7].

Після кодування отримуємо значення факторів, рівні +1 (верхній рівень) і -1 (нижній рівень).

Величина плеча α «зіркових» точок визначається за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{n\varphi - 2^k}{2}}, \text{ де } \varphi = \sqrt{\frac{2^k}{n}}; n = 2^k + 2k + 1,$$

але, так як при розрахунковій величині α нижні рівні варіювання деяких параметрів не відповідають фізичним можливостям обладнання, то були обрані інші табличні значення $\alpha = 1$, 596 та $\varphi = 0,863$ [7].

Значення факторів наведені у таблиці 1.

На третьому етапі створено матрицю планування повного факторного експерименту (табл. 2). За умови наявності 6 критеріїв оптимізації у якості ядра був використаний повний факторний експеримент, кількість дослідів у ядрі $2^k = 64$, у «зіркових» точках – $2k = 12$, у центрі плану – 1. Кожен стовбець в матриці планування називають вектор-стовбцем, а рядок – вектор-рядком. Варіювання факторів в матриці планування виконується наступним чином: в першому стовбці знаки чергуються через один, у другому – через два, у третьому – через чотири, у четвертому – через вісім і так далі по ступеням двійки [7]. У «зіркових» точках значення усіх факторів, окрім фактору з плечем α залишаються на нульовому рівні. В центральній точці плану значення усіх факторів на нульовому рівні варіювання.

Варіанти взаємодії факторів між собою були знайдені шляхом перебору. З урахуванням взаємодії факторів матриця повного факторного експерименту містить сім вектор-стовбців незалежних змінних, де x_0 представляє кодоване значення вільного члена, а також 63 вектор-стовбці взаємодіючих факторів.

Рівні варіювання факторів

Найменування факторів	Позначення факторів	Рівні варіювання					Інтервали варіювання
		-1,596*	-	0	+	+1,596*	
Частота обертання - n , об/хв	x_1	160	250	630	1000	1600	370
Подача - S_p , мм/об	x_2	0,06	0,1	0,25	0,4	0,6	0,15
Передній кут - γ , град	x_3	16	10	20	30	48	10
Кут при вершині - ϵ , град	x_4	27	45	60	75	120	15
Задній кут, α , град	x_5	16	10	15	20	34	5
Твердість матеріалу різця, HRA	x_6	38	64	77	90	144	13

Таблиця 2

Матриця планування повного факторного експерименту з урахуванням взаємодії факторів (скорочена)

№ п/п	Кодовані значення факторів в експерименті													
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₁ – φ	x ₂ – φ	⋮	x ₂ ·x ₃ ·x ₄ ·x ₅ ·x ₆	x ₁ ·x ₂ ·x ₃ ·x ₄ ·x ₅ ·x ₆	P _z	P _y
1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0,137	0,137	...	1	-1	P _{z1}	P _{y1}
2	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0,137	0,137	...	1	1	P _{z2}	P _{y2}
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,137	0,137	...	-1	1	P _{z3}	P _{y3}
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,137	0,137	...	-1	-1	P _{z4}	P _{y4}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
74	1	0	0	0	0	1,215	0	-0,863	-0,863		0	0	P _{z74}	P _{y74}
75	1	0	0	0	0	1,215	-1,215	-0,863	-0,863		0	0	P _{z75}	P _{y75}
76	1	0	0	0	0	0	1,215	-0,863	-0,863	...	0	0	P _{z76}	P _{y76}
77	1	0	0	0	0	0	0	-0,863	-0,863	...	0	0	P _{z77}	P _{y77}

На третьому етапі було проведено експериментальне дослідження згідно розробленого плану за допомогою комплексу вимірювального обладнання, який складається з вимірювальної головки УДМ-100, міліамперметра та підсилювача ТА-5, та експериментальної установки на базі токарно-гвинторізного верстата 16K20 [6]. В якості ріжучого інструменту були використані різьбові різці зі сплавів марок Р6М5 і Т15К5.

Експериментальна установка на базі токарно-гвинторізного верстата 16K20 (рис. 2) представляє собою консоль з вимірювальною голівкою УДМ-100, яка закріплена на столі верстата, котрий підводиться перпендикулярно до осі шпинделя, у шпинделі закріплений кондуктор з надією на нього шиною. Сили різання були визначені під час розрізання навпіл картингових шин Bridgestone, розміром 7.1/11.0-5 з текстильним кордом. Межа міцності при розтягуванні зразка матеріалу шини складає $\sigma_p = 4,6$ МПа [4].

Дані експерименту наведені у скороченому вигляді в таблиці 3.

На четвертому етапі був проведений аналіз отриманих експериментальних даних на предмет наявності окремих грубих помилок вимірів (викидів), а також оцінка дисперсії відтворюваності експериментальних даних.

Дані експерименту (скорочена)

№ п/п	n, хв ⁻¹	S _p , мм/об	γ, град	ε, град	α, град	Твердість, HRA	P _z , Н	P _y , Н
1	250	0.1	10	75	10	64	122	54
2	1000	0.1	10	75	10	64	74	32
...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	250	0.4	30	45	20	64	159	34
32	1000	0.4	30	45	20	64	97	18
...	...	...	...	...	...	...	...	...
63	250	0.4	30	45	20	90	120	26
64	1000	0.4	30	45	20	90	75	14
...	...	...	...	...	...	...	...	...
75	630	0,25	20	60	15	38	158	44
76	630	0,25	20	60	15	144	58	17
77	630	0,25	20	60	15	77	94	27

Для розрахунку дисперсії відтворюваності та перевірки рівноточності вимірів було проведено нерівномірне дублювання вимірів в окремих точках плану, кількість яких $N_1 = 5$, у кожній з них досліди проведені γ_u разів, $u = 1 \div N_1$.

Вибіркова оцінка дисперсії в u -му досліді розраховується за формулою:

$$S_{yu}^2 = \frac{1}{\gamma_u - 1} \sum_{1 \leq i \leq \gamma_u} (y_{ui} - \overline{y_{ui}})^2.$$

Середнє арифметичне значення відгуку в u -й точці плану визначається за формулою:

$$\overline{y_{ui}} = \frac{1}{\gamma_u} \sum_{1 \leq i \leq \gamma_u} y_{ui},$$

зі ступенями свободи:

$$f_u = \gamma_u - 1.$$

Оцінка дисперсії відтворюваності вимірів під час реалізації плану експерименту визначається як середнє зважене:

$$S_{\text{відтв}}^2 = \frac{\sum_{1 \leq u \leq N_1} f_u S_{yu}^2}{\sum_{1 \leq u \leq N_1} f_u},$$

зі ступенями свободи:

$$f_{\text{відтв}} = \sum_{1 \leq u \leq N_1} f_u = \sum_{1 \leq u \leq N_1} \gamma_u - N_1.$$

Перевірка рівноточності вимірів (однорідності ряду оцінок дисперсій $S_{y1}^2, S_{y2}^2, \dots, S_{yN_1}^2$) виконується за допомогою Критерію Кохрена (G-статистика):

$$G^{\text{ек}} = \frac{\max_{1 \leq u \leq N_1} S_{yu}^2}{\sum_{1 \leq u \leq N_1} S_{yu}^2},$$

з числом ступенів свободи:

$$f_1 = f_u = \gamma - 1 \text{ і } f_2 = N_1.$$

Експериментальні значення $G^{\text{ек}}$ критерію порівнюються власне з табличними значеннями G^T – статистики. Якщо $G^{\text{ек}} \leq G_{\alpha, f_1, f_2}^T$, то при обраному рівні значимості α гіпотеза о рівноточності вимірів (однорідності оцінок дисперсій) не відкидається [7].

В нашому випадку $G_1^{\text{ек}} \leq G_{\alpha, f_1}^T$ і $G_2^{\text{ек}} \leq G_{\alpha, f_2}^T$, а отже виміри проведені рівноточно.

Результати розрахунків до цього етапу роботи наведені у таблиці 4 нижче.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На п'ятому етапі, після аналізу отриманих експериментальних даних, були розраховані коефіцієнти регресії та проведена оцінка їх значимості.

Таблиця 4

Результати розрахунків до аналізу результатів експерименту (скорочена)

N ₁	γ _u	Y _{u1} , H	Y _{u2} , H	$\overline{Y_{u1}}$	$\overline{Y_{u2}}$	S ² _{yu1}	S ² _{yu2}	S ² _{відтв1}	S ² _{відтв2}	G ^{ек} ₁	G ^{ек} ₁	Табличне значення для рівня значимості 5%	
1	1	122	54	121,6	54,4	4,8	1,3					0,5441	0,5065
	2	125	53	121,6	54,4								
	3	121	56	121,6	54,4								
	4	119	54	121,6	54,4								
	5	121	55	121,6	54,4								
...	...	...	...	...	...	...	...	4,36	2,64	0,27	0,35		
5	1	69	19	69,4	19,6	2,8	2,3					0,5441	0,5065
	2	68	18	69,4	19,6								
	3	72	22	69,4	19,6								
	4	68	20	69,4	19,6								
	5	70	19	69,4	19,6								

При ортогональному плануванні коефіцієнти рівняння регресії визначаються незалежно один від одного за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_u}{n}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \overline{y_u}}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2};$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \overline{y_u}}{\sum_{u=1}^n (x_{iu} x_{ju})^2}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n (x'_{iu})^2 \overline{y_u}}{\sum_{u=1}^n [(x'_{iu})^2]^2};$$

де i, j – номери стовбців матриці планування; x_{iu} – елементи i-го стовбця [7].

Для пришвидшення та автоматизації, усі розрахунки були проведені в програмі Microsoft Excel 2013.

Результати розрахунків наведені у таблицях 5 та 6.

Таблиця 5

Коефіцієнти регресії для рівняння P_z (скорочена)

№ п/п	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₁₁	b ₂₂	...	b ₂₃₄₅₆	b ₁₂₃₄₅₆
1	118	-118	-118	-118	118	-118	-118	16,71	16,71	...	118	-118
2	74	74	-74	-74	74	-74	-74	10,14	10,14	...	74	74
3	171	-171	171	-171	171	-171	-171	23,43	23,43	...	-171	171
4	119	119	119	-119	119	-119	-119	16,3	16,3	...	-119	-119
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
74	59	0	0	0	0	71,69	0	-136	-136	...	0	0
75	158	0	0	0	0	0	-192	-50,9	-50,9	...	0	0
76	58	0	0	0	0	0	70,47	-14,7	-14,7	...	0	0
77	94	0	0	0	0	0	0	-81,1	-81,1	...	0	0
b	100,71	-22,55	19,28	1,20	10,79	-1,74	-15,15	7,28	10,05	...	-0,70	0,33

Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії проведена за допомогою t-критерію Стюдента:

$$t = \frac{|b_i|}{S_{bi}}, \quad \text{де } S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2}.$$

Оцінки дисперсій S²_{bi} коефіцієнтів рівняння регресії розраховані відповідно за формулами [7]:

$$S_{b0}^2 = \frac{S_{\text{відтв}}^2}{n}; \quad S_{bi}^2 = \frac{S_{\text{відтв}}^2}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2};$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

$$S_{bi}^2 = \frac{S_{\text{відтв}}^2}{\sum_{u=1}^n (x_{iu} x_{ju})^2}; \quad S_{bii}^2 = \frac{S_{\text{відтв}}^2}{\sum_{u=1}^n [(x_i')^2]^2}.$$

Таблиця 6

Коефіцієнти регресії для рівняння P_v (скорочена)

№ п/п	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_{11}	b_{22}	...	b_{23456}	b_{123456}
1	54	-54	-54	-54	54	-54	-54	7,398	7,398	...	54	-54
2	32	32	-32	-32	32	-32	-32	4,384	4,384	...	32	32
3	62	-62	62	-62	62	-62	-62	8,494	8,494	...	-62	62
4	34	34	34	-34	34	-34	-34	4,658	4,658	...	-34	-34
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
74	34	0	0	0	0	41,31	0	-29,3	-29,3	...	0	0
75	44	0	0	0	0	0	-53,5	-38	-38	...	0	0
76	17	0	0	0	0	0	20,66	-14,7	-14,7	...	0	0
77	27	0	0	0	0	0	0	-23,3	-23,3	...	0	0
b	31,73	-8,73	2,20	-9,62	0,06	-0,81	-4,51	-3,12	-3,27	...	-0,05	0,08

Результати розрахунків з перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Результати розрахунків з перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії (скорочена)

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_{11}	b_{22}	...	b_{23456}	b_{123456}
S_1^2	0,057	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,43	0,43	...	0,068	0,068
S_2^2	0,034	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,26	0,26	...	0,04	0,04
S_1	0,238	0,255	0,255	0,255	0,255	0,255	0,255	0,656	0,656	...	0,261	0,261
S_2	0,185	0,199	0,199	0,199	0,199	0,199	0,199	0,51	0,51	...	0,203	0,203
t_1	423,2	88,37	75,55	4,694	42,27	6,811	59,38	1,814	6,031	...	2,694	1,257
t_2	171,3	43,97	11,09	48,45	0,327	4,093	22,7	6,123	6,408	...	0,231	0,385
Значимість b_{11}	+	+	+	+	+	-	+	-	+	...	+	-
Значимість b_{12}	+	+	+	+	-	+	+	+	+	...	-	-

На останньому етапі були побудовані, власне, рівняння регресії другого порядку.

Рівняння регресії при ортогональному центральному композиційному плануванні другого порядку в загальному виді має форму [7]:

$$y_0 = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{\substack{1 \leq i \leq k \\ 1 \leq j \leq k \\ i \neq j}} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2.$$

З урахуванням значимості коефіцієнтів рівняння регресії та умови закодованості факторів, для кожної з сил - P_z та P_y рівняння регресії отримують вигляд:

$$\begin{aligned} P_z = & 89,765696 + 25,762075 \cdot \alpha - 431,423656 \cdot S_p - 0,484727 \cdot HRA - \\ & - 4,645511 \cdot \varepsilon + 0,208277 \cdot n + 11,409473 \cdot HRA \cdot S_p - \\ & - 0,048427 \cdot HRA \cdot \alpha - 0,007717 \cdot HRA \cdot \varepsilon + 20,10734 \cdot S_p \cdot \alpha + \\ & + 8,647541 \cdot S_p \cdot \varepsilon - 0,001976 \cdot HRA \cdot n - 0,414186 \cdot S_p \cdot n - \\ & - 0,154706 \cdot \alpha \cdot \varepsilon - 0,022774 \cdot \alpha \cdot n - 0,004634 \cdot \varepsilon \cdot n - \\ & - 0,18637 \cdot S_p \cdot \alpha \cdot \varepsilon + 0,000198 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot n + 0,000039 \cdot HRA \cdot \varepsilon \cdot n + \\ & + 0,028272 \cdot S_p \cdot \alpha \cdot n + 0,006929 \cdot S_p \cdot \varepsilon \cdot n + 0,000361 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot n - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -0,74821 \cdot HRA \cdot S_p \cdot \alpha - 0,17842 \cdot HRA \cdot S_p \cdot \varepsilon - 0,001381 \cdot HRA \cdot S_p \cdot n + \\
 & + 0,000819 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \varepsilon + 0,009296 \cdot HRA \cdot S_p \cdot \alpha \cdot \varepsilon \\
 & + 0,000159 \cdot HRA \cdot S_p \cdot \alpha \cdot n - 0,000003 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot n - \\
 & - 0,000585 \cdot S_p \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot n + 175,555556 \cdot S_p^2 - 0,5168 \cdot \alpha^2 + 0,058978 \cdot \varepsilon^2 \\
 & P_y = 101,897968 + 1,760092 \cdot HRA + 112,705327 \cdot S_p + 3,93 \cdot \alpha - \\
 & - 4,50482 \cdot \varepsilon - 0,023707 \cdot n + 0,00024 \cdot HRA \cdot n - 0,031894 \cdot S_p \cdot n + \\
 & + 0,000085 \cdot \varepsilon \cdot n - 0,015917 \cdot HRA^2 - 145,333333 \cdot S_p^2 - 0,1364 \cdot \alpha^2 + \\
 & + 0,036578 \cdot \varepsilon^2 - 0,000022 \cdot n^2
 \end{aligned}$$

Висновки. У результаті проведеної роботи ми отримали математичну модель формування сил різання в процесі обробки різанням зношеної шини, яка складається з двох рівнянь регресії другого порядку, відповідно для сил P_z і P_y . Отримана математична модель у подальшому може бути використана для оптимізації режимних параметрів процесу обробки та вибору оптимальних геометричних параметрів і матеріалу ріжучого інструменту.

Інформаційні джерела

1. Пат. № 56698 України. Спосіб переробки зношених шин загального призначення та великогабаритних автомобільних шин [Текст] / Е.С. Скорняков, О.М. Коробочка, О.О. Сасов, В.С. Авер'янов; власник – Дніпродзержинський державний технічний університет. – № у 2010 08087; заяв. 29.06.2010; публ. 25.01.2011, Бюл. №2.
2. Козарь Д.М., Крауиньш П.Я. Кинематика и динамика формирования сил резания при фрезеровании упругой оболочки: Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана "Наука и образование".
3. Мкртчян А.Ф., Музафаров Р.С. Особенности механической обработки гуммированных валов бумагоделательных машин.
4. Коржавін Ю.А., Сичов С.Ю., Експериментальні дослідження впливу геометрії ріжучого інструмента з титан-вольфрамових сплавів на сили різання при розрізанні зношених пневматичних шин. / Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк червень 2016 р. – Луцьк: ЛНТУ, – Вип. 8 (1) – 2016. С.110-115
5. Сасов О.О. Дослідження впливу геометрії та матеріалу ріжучого інструменту на сили різання при попередньому подрібненні зношених пневматичних шин: стаття [Текст] / О.О. Сасов, Ю.А. Коржавін, О.М. Коробочка // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк грудень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С.104-107.
6. Скорняков Е.С. Дослідження особливостей подрібнення різанням пневматичних шин при утилізації [Текст] /Е.С. Скорняков, О.О. Сасов, Ю.А. Коржавін, С.В. Калініченко, Я.В. Яковенко і др.// Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м.Луцьк травень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С.83-87.
7. Барвинок В.А., Бордаков П.А. Математическое планирование эксперимента в производстве летательных аппаратов - Учебное пособие. — Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1990. — 64 с.

Сасов А.А., к.т.н., Аверьянов В.С., к.т.н., Коржавин Ю.А., к.т.н., Соколов А.Д., магистрант

Днепропетровский государственный технический университет

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗРЕЗАНИИ ПОПОЛАМ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

В ходе данной работы было проведено ортогональное центральное композиционное планирование с ядром в виде полного факторного эксперимента и проведено исследование процесса обработки резанием изношенной пневматической шины Bridgestone размером 7.1/11.0-5, при помощи режущего инструмента со сплавов марок Р6М5 и Т15К6, в результате которого был получен массив данных – приведённых сил резания. Используя созданную матрицу планирования полного факторного эксперимента и полученный в ходе эксперимента массив данных, с использованием программы Microsoft Excel 2013, были рассчитаны коэффициенты регрессии, которые легли в основу математической модели в виде полинома второго порядка. Созданная математическая модель выражает зависимость сил резания от совокупности геометрических параметров и твёрдости материала режущего инструмента, а также режимных параметров обработки резанием, соответственно, с её помощью можно определить совокупность оптимальных геометрических параметров и материала режущего

инструмента, а также режимных параметров, которые будут обеспечивать минимизацию сил резания, следовательно, и энергозатрат на процесс резания в целом.

Ключевые слова: *полный факторный эксперимент, математическая модель, режущий инструмент, силы резания, пневматическая шины, утилизация шин, предварительное измельчение шин, обработка резанием резины.*

Sasov A.A., Averianov V.S., Korzhavin Y.A., Sokolov A.D.

Dneprovskiy State Technical University, Kamenskoe, Ukraine

**OBTAINING A MATHEMATICAL MODEL OF FORMING FORCES DURING THE
PROCESS OF CUTTING WORN OUT AUTOMOBILE TIRES**

In the course of this work, orthogonal central compositional planning was performed with a core in the form of a full factor experiment and a study was made of the process of cutting the worn-out Bridgestone pneumatic tire measuring 7.1 / 11.0-5, using a cutting tool from the P6M5 and T15K6 alloys, resulting in an data array - the resultant cutting forces. Using the created matrix of planning of the full factorial experiment and the data array obtained in the course of the experiment, using Microsoft Excel 2013 program, the regression coefficients were calculated, which formed the basis of the mathematical model in the form of a second-order polynomial. The created mathematical model expresses the dependence of the cutting forces on the set of geometric parameters and the hardness of the material of the cutting tool, as well as the operating parameters of the cutting, and accordingly it can determine the set of optimal geometric parameters and material of the cutting tool, as well as the regime parameters that will ensure the minimization of forces Cutting, and, consequently, energy consumption for the cutting process as a whole.

Key words: *full factorial experiment, mathematical model, cutting tool, cutting forces, pneumatic tires, tire recycling, preliminary tire shredding, rubber cutting.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПОВІЛЬНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ВИХРОВОГО РУХУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА У ВІБРОБУНКЕРІ

В статті представлені результати досліджень закономірностей циркуляційного вихрового руху робочого середовища та переміщення корпусу вібробункера при його симетричному ударно-імпульсному навантаженні. Встановлено, що ударно-імпульсні навантаження на вібробункер приводять до виникнення повільного циркуляційного руху робочого середовища, який інтенсифікується при несиметричному ударному навантаженні. Циркуляційний рух має вигляд кільцевого або дугоподібного вихрового кільця, яке охоплює весь об'єм робочого середовища. Для визначення характеру вихрового руху допустимим є застосування закону зміни кількості руху в інтегральній формі для виділеного контрольного об'єму робочого середовища. Середня швидкість циркуляційного руху залежить від інтенсивності удару, швидкості вібробункера до удару та маси робочого середовища. Кутова швидкість вихрового руху пропорційна середній швидкості циркуляційного руху.

Ключові слова: вібраційна абразивна обробка, вібробункер, циркуляційний рух, електромагніт, абразивний матеріал, ударна хвиля.

Постановка проблеми. Актуальність віброабразивних методів обробки деталей пояснюється перевагами цього методу над такими традиційними фінішними операціями як галтовка, шліфування, полірування. Віброабразивна обробка дозволяє забезпечити механізацію процесу обробки, покращити обробку геометрично складних зовнішніх і внутрішніх важкодоступних поверхонь деталей, а також обробку крихких і нежорстких деталей без порушення їх геометричної форми і пошкодження поверхонь.

Застосування віброобробки в якості фінішної операції дозволяє суттєво знизити собівартість виготовлення деталей, що мають шорсткість поверхні $Ra > 0$. Віброобробка, яка забезпечує отримання мікронерівностей порядку $0,15 \div 0,25$ мкм, в ряді випадків може замінити доводку, собівартість якої в 4-5 разів вища. При цьому точність геометричної форми деталі, отримана при шліфуванні, не порушується, так як в результаті віброобробки знімається шар металу не більше 1-2 мкм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В інформаційних технічних джерелах вказано на високу продуктивність вібраційної обробки. Однак відсутність повної інформації про процеси, які відбуваються під час обробки деталей в робочому середовищі та технологічні можливості вібраційної обробки, а також рекомендацій для технологічного забезпечення механічної віброабразивної обробки стримує широке промислове впровадження і подальший розвиток цього прогресивного методу.

Зацікавленість віброабразивними методами обробки деталей пояснюється перевагами цього методу над такими традиційними викінчувальними операціями як галтовка, шліфування, полірування оскільки при цьому забезпечується механізація процесу обробки, обробка геометрично складних зовнішніх і внутрішніх важкодоступних поверхонь деталей, а також обробка крихких і нежорстких деталей без порушення їх геометричної форми і пошкодження поверхонь та деталей, які мають тенденцію до зчеплення при обробці їх в обертових барабанах. Особливо помітні переваги віброабразивної обробки при виготовленні деталей з високим класом чистоти поверхні. Це деталі підшипників кочення, інструмент (різці, свердла та фрези після термічної обробки і зварювання), деталі двигунів, верстатів, холодильників та ін. Важливою перевагою віброобробки є висока стабільність результатів обробки всіх деталей однієї партії, що особливо важливо при обробці високоточних деталей.

Постановка завдань. 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. Основою процесу є механічне або механохімічне знімання дрібних частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні, а також вигладжування мікронерівностей поверхні за рахунок пластичного деформування частинками робочого середовища, які відтворюють в процесі роботи складні рухи.

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 та ін. 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. На швидкість циркуляції дещо менший вплив має кількість і характер рідинного розчину, грануляція і форма частинок робочого середовища, заповнений об'єм робочої камери.

Викладення основного матеріалу. Робоче середовище являє собою квазіоднорідну рідко-текучу субстанцію з нелінійними характеристиками. При ударно-імпульсному навантаженні вібробункера робоче середовище змінює свої властивості. Для побудови теоретичної моделі повільного циркуляційного руху робочого середовища розглянемо основні його параметри стану. Закономірності руху розглянемо для різних випадків ударного навантаження. Ударні навантаження можуть здійснюватись за симетричною схемою, коли включені всі чотири електромагніти та за асиметричними схемами.

При одночасному включенні всіх чотирьох електромагнітів вібробункер буде рухатись в напрямку вісі z . В першому наближенні будемо вважати рух вібробункера синусоїдальним, відповідним синусоїдальній силі, що створюється електромагнітами. Ударне імпульсне навантаження на вібробункер відбувається при його взаємодії з упорами в точці 1 (рис. 1, в).

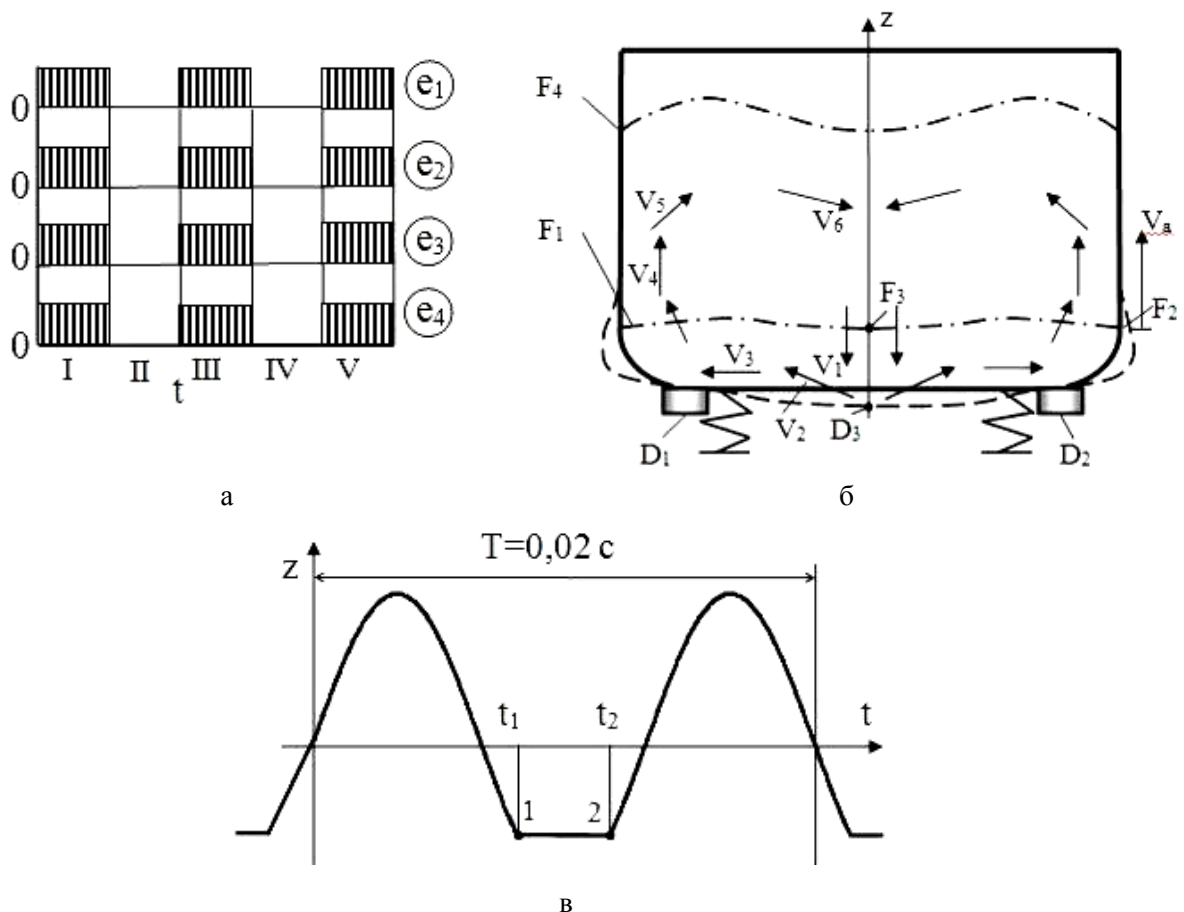


Рис. 1. Циклограма одночасного включення всіх чотирьох електромагнітів (а), схема руху вібробункера (б) та закон переміщення корпусу вібробункера (в) при його симетричному ударно-імпульсному навантаженні

Частота включення електромагнітів складає 50 Гц. Амплітуда переміщення 2...3 мм. При ході вібробункера вниз він взаємодіє з упорами і зупиняється. При цьому, в робочому середовищі виникають інтенсивні процеси імпульсного характеру (рис. 2).

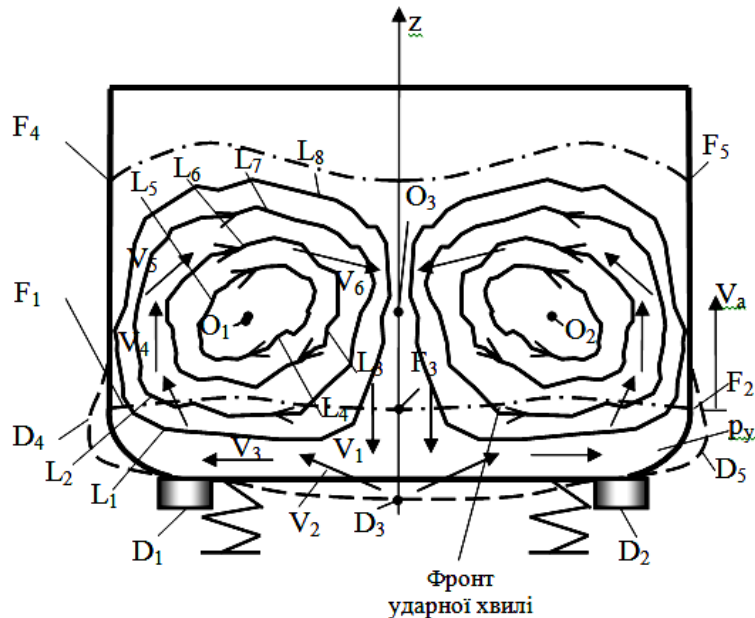


Рис. 2. Схема вісесиметричного вертикального переміщення вібробункера та циркуляційний рух робочого середовища

При ударі точки D_1 , D_2 дна вібробункера взаємодіють з упорами і зупиняються. Робоче середовище і дно вібробункера рухаються по інерції. При цьому має місце пружна деформація дна вібробункера і він прогинається. Його точка D_3 рухається вниз під дією сил інерції дна та інерції середовища і зупиняється в стані динамічної рівноваги. При цьому гранули і деталі, які утворюють робоче середовище, зупиняються безпосередньо біля поверхні дна вібробункера. Еквівалентний тиск робочого середовища біля дна вібробункера підвищується на величину p_{y0} . Елементи робочого середовища, розташовані вище дна, рухаються за інерцією (по стрілці V_1), натискають на нерухомі елементи, розташовані біля дна, і гальмуються, підвищуючи тиск в області дна і розширюючи цю область. Утворюється ударна хвиля $F_1F_3F_2$. Фронт ударної хвилі рухається вгору із швидкістю ударної хвилі V_a . Фронт ударної хвилі $F_1F_3F_2$ не є плоским. Він викривлений по різних причинах. По-перше, за рахунок прогину дна вібробункера. По-друге, він викривлений за рахунок того, що робоче середовище в центральній частині ущільнюється (стискається) більше ніж біля бокових стінок. Частина робочого середовища біля стінок гальмується і утримується від стиску нерухомими стінками, тому ущільнення біля стінок менше ніж в центральній частині вібробункера.

Третьою причиною є деформації стінок вібробункера в радіальному напрямку (точки D_4D_5). Розширення вібробункера знижує еквівалентний тиск на периферії по відношенню до тиску в центрі. Це приводить до виникнення мікропереміщень елементів робочого середовища від центру до периферії. Переміщення показані стрілками V_2 і V_3 . Фронт ударної хвилі $F_1F_2F_3$ переміщується вгору по висоті вібробункера до тих пір, поки не досягне вільної поверхні робочого середовища. Вільна поверхня внаслідок проходження фронту дещо викривляється і набуває форми кривої $F_4F_5F_6$ (викривлення показано у збільшеному вигляді).

Переміщення елементів робочого середовища спричиняє циркуляційний рух, який формується у радіальних площинах. Еквівалентні лінії течії (траєкторії руху елементів) є замкнутими і являють собою кільцеві лінії, що мають нижні гілки L_1 , L_2 , L_3 , L_4 та верхні гілки L_5 , L_6 , L_7 , L_8 . Циркуляційний рух є повільним. Він охоплює весь об'єм робочого середовища. Циркуляційний рух має вигляд вихрового кільця з центром в точках O_1 та O_2 .

Таким чином, при ударно-імпульсному навантаженні вібробункера в робочому середовищі виникає вихровий циркуляційний рух, який охоплює тороподібну область. В центрі тороподібної області (точки O_1 та O_2) має місце фокус течії, де її поступальна швидкість близька до нуля.

Для розрахунку динамічних параметрів середовища при ударно-імпульсному навантаженні застосовуються основні положення теорії гідравлічного удару.

Час розповсюдження фронту ударної хвилі від дна вібробункера до вільної поверхні є фазою гідравлічного удару τ .

$$\tau = \frac{H}{v_a}, \quad (1)$$

де H – висота робочого середовища; v_a – швидкість ударної хвилі.

Підвищення тиску визначається із рівняння балансу енергії. При гідравлічному ударі кінетична енергія робочого середовища E_k переходить у потенціальну енергію стиску середовища E_{np} та потенціальну енергію деформованого дна стінок вібробункера E_{nm} . Таким чином, рівняння енергетичного балансу:

$$E_k = E_{nm} + E_{np} + E_\delta, \quad (2)$$

де E_δ – енергія, яка втрачається на опір середовища та на нелінійні деформаційні процеси в робочому середовищі.

Кінетична енергія середовища, що рухається із середньою швидкістю v_0 у вібробункері висотою H і радіусом r_0 , визначається формулою:

$$E_k = 0,5\rho\pi r_0^2 H v_0^2, \quad (3)$$

де ρ – середня еквівалентна густина робочого середовища, яке включає деталі і гранули абразиву.

Потенціальна енергія стисненого робочого середовища дорівнює роботі стиснення при дії ударної зміни тиску Δp_y і визначена як:

$$E_{np} = 0,5\rho\pi r_0^2 \Delta p_y \Delta H = 0,5\Delta p_y \Delta W, \quad (4)$$

де ΔH – зміна висоти робочого середовища;

ΔW – зміна об'єму робочого середовища.

Приймемо в першому наближенні, що зміна об'єму робочого середовища лінійно залежить від зміни тиску:

$$\Delta W = \frac{W \Delta p_y}{E_a}, \quad (5)$$

де W – об'єм робочого середовища;

E_a – середнє значення еквівалентного модуля пружності робочого середовища.

Визначаючи об'єм середовища як $W = \rho\pi r_0^2 H$, дістанемо вираз для потенціальної енергії стиснення робочого середовища:

$$E_{np} = \frac{0,5\rho\pi r_0^2 H (\Delta p_y)^2}{E_a}. \quad (6)$$

Потенціальна енергія деформації стінок вібробункера:

$$E_{nm} = 0,5\Delta p_y \rho\pi r_0 H \Delta r,$$

де Δr – деформація стінки вібробункера в радіальному напрямі.

Згідно закону Гука:

$$\Delta r = \frac{\sigma r}{E},$$

де σ – нормальна напруга в матеріалі вібробункера; E – модуль пружності матеріалу стінок вібробункера.

Визначимо напругу як

$$\sigma = \frac{\Delta p_y r}{\delta},$$

де δ – товщина стінки вібробункера.

Потенціальна енергія деформації:

$$E_{nm} = \frac{\pi^3 H}{\delta E} (\Delta p_y)^2 + E_{\delta n}.$$

$$E_{\text{дн}} = \frac{\pi^3}{\delta E} K_o (\Delta p_y)^2$$

де $E_{\text{дн}}$ – потенціальна енергія дна вібробункера, K_o – коефіцієнт.

Підставимо значення енергій у рівняння енергетичного балансу і дістанемо:

$$0,5\pi^2 H \rho V_0^2 = \frac{\pi^2 (H + K_o)}{\delta E} (\Delta p_y)^2 + \frac{\pi^2 H}{2E_a} (\Delta p_y)^2. \quad (7)$$

Значення ударного тиску:

$$\Delta p_y = \rho V_0 V_a, \quad (8)$$

де, $V_a = \sqrt{\frac{E_{\text{п}}}{\rho}}$ – швидкість розповсюдження ударної хвилі;

$E_{\text{п}}$ – приведений модуль пружності вібробункера.

Швидкість розповсюдження гідроударної хвилі є невеликою і становить 50...100 м/с.

Підвищення тиску розраховується за наведеною формулою.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що в реальних умовах розрахункові значення гідроударного підвищення тиску дещо менші (на 10...20 %) за експериментальні (рис. 3).

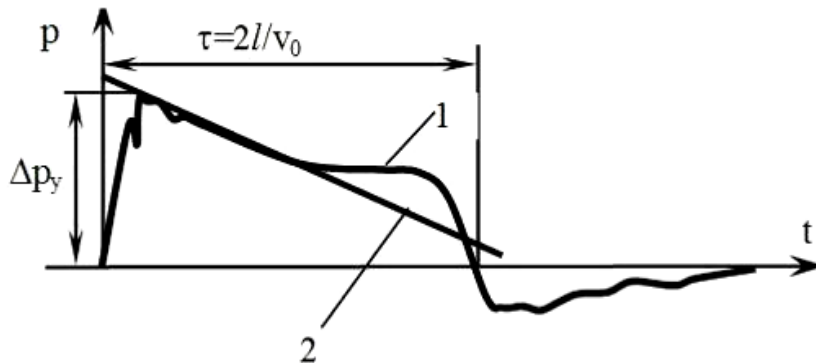


Рис. 3. Схематичний графік зміни гідроударного тиску у вібробункері при гідроударі

Сили опору в робочому середовищі є надзвичайно інтенсивними. Тому гідроударне підвищення тиску швидко зменшується. Запропоновано як перше наближення, що підвищення тиску в околиці дна вібробункера змінюється по трикутному закону (крива 2 на рис. 3).

Підвищення тиску спричинює циркуляційний рух робочого середовища. Напрямок цього руху встановлено раніше. Він направлений від середини дна вібробункера на його периферію (рис. 4).

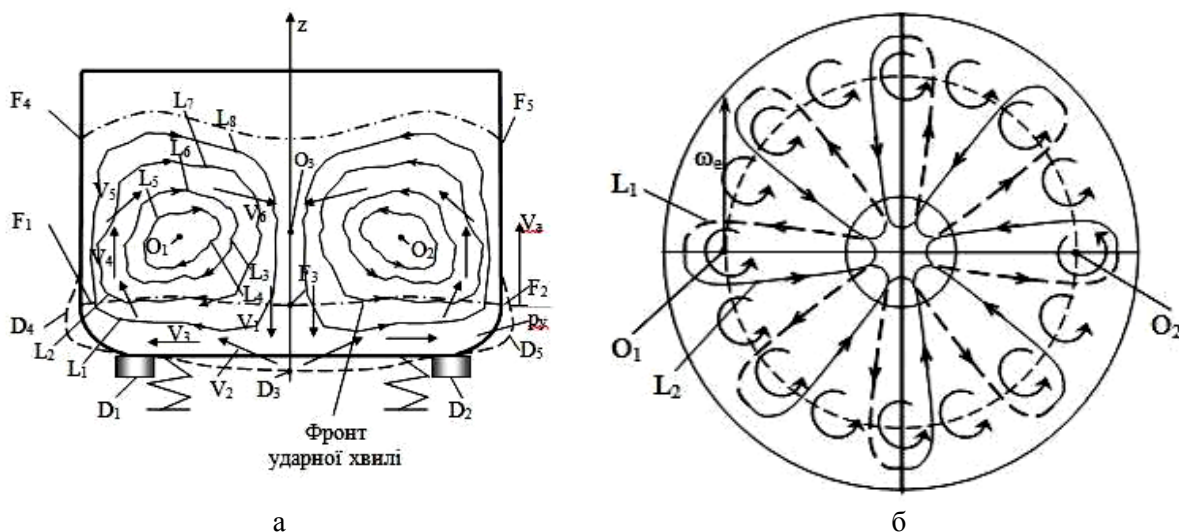


Рис. 4. Циркуляційний рух робочого середовища при симетричному ударно-імпульсному навантаженні: а – вигляд збоку; б – вигляд згори

Робоче середовище розповсюджується повільним циркуляційним потоком, для частини потоку відповідної лінії $O_1O_3O_2$ переміщення середовища відбувається під дією еквівалентного тиску. Прийнято, що еквівалентний тиск гідроудару становить $\frac{1}{2} p_y$. Даний тиск діє в проміжку часу $\Delta t_B = t_2 - t_1$ між точками 1 і 2 (див. рис. 1). При цьому, гідроудар діє в точці 1 і затухає в точці 2. Відповідно, еквівалентний тиск в околиці дна вібробункера складе:

$$p_{Q1} = \frac{1}{2} p_y \cdot \frac{\Delta t_B}{T} \quad (9)$$

Під дією еквівалентного тиску на лінії $O_1O_3O_2$ має місце течія робочого середовища. Середня швидкість течії V_c буде визначатись перепадом тиску. В першому наближенні приймемо, що для лінії $O_1O_3O_2$ має місце рівняння Бернуллі. Прийнято, що швидкість на вході (в точці O_1) та виході (в точці O_3) однакова. Тоді рівняння Бернуллі набуде вигляду:

$$p_{O1} = \frac{\rho}{2} V_c^2 \cdot \xi \quad (10)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічних втрат.

Із даного рівняння визначено середню швидкість циркуляційного руху:

$$V_c = \sqrt{\frac{2}{\rho \xi} p_{O1}} = \sqrt{\frac{1}{\xi} \frac{\Delta t_B}{T} V_a V_0}.$$

Таким чином, середня швидкість визначається швидкістю удару V_0 та швидкістю ударної хвилі V_a . Підставивши значення величини, отримаємо:

$$V_c = \sqrt{\frac{1}{\xi} \frac{\Delta t_B}{T} \frac{E_{II}}{\rho} V_0}. \quad (11)$$

Одержану залежність спростимо розкладом в ряд Тейлора і одержимо:

$$V_c = a_1 \frac{\Delta t_b}{T} + a_2 E_{II} - a_3 \rho + a_4 V_0, \quad (12)$$

де a_1 - a_4 – постійні, які будуть уточнені по результатам експериментів.

Вихровий циркуляційний рух приводить до повільного обертання маси робочого середовища. Профіль середніх швидкостей в радіальному перетині середовища описується параболическою залежністю. На осі вібробункера швидкість руху робочого середовища змінюється від нульового значення на поверхні та в центральній частині дна вібробункера до деякого максимального в центральній частині робочого середовища (точка O_3). Таким чином виникає тороподібний вихровий циркуляційний рух робочого середовища (рис. 4, б).

Інтенсивність циркуляційного руху оцінюється еквівалентною кутовою швидкістю ω_e , що характеризує повільне обертання робочого середовища.

Для оцінки кутової швидкості циркуляційного руху використано залежність:

$$\omega_e = \frac{V_c}{r_c}. \quad (13)$$

Вихрові рухи охоплюють весь об'єм робочого середовища.

Інтенсивність вихрового циркуляційного руху при симетричному ударному навантаженні є невеликою. Це пояснюється стабілізуючим впливом окремих вихорів, які є симетричними.

Більш інтенсивним є циркуляційний рух при несиметричному ударному навантаженні вібробункера (рис. 5).

При несиметричному навантаженні удар має місце з одного боку вібробункера (точка D_1). При цьому ударна хвиля F_1F_2 є несиметричною. Підвищення тиску біля дна вібробункера приведе до його деформації. Деформація буде несиметричною, найбільший прогин дна буде зміщено до точки удару. Крім статичних деформацій дна і стінок вібробункера в ньому виникають високочастотні коливання. Це знижує сили тертя елементів робочого середовища по поверхні вібробункера. Дно вібробункера нахилено під деяким кутом до напрямку руху частинок абразиву. Тому інерція робочого середовища спричиняє його переміщення в напрямку стінки (показано стрілкою V_1). Це є основною причиною формування інтенсивного циркуляційного руху робочого середовища. Додатковою причиною є проходження фронту ударної хвилі.

Розповсюджуючись по висоті вібробункера ударна хвиля доходить до поверхні робочого середовища за неоднаковий час. В місці удару ударна хвиля досягне поверхні (точка F_4), а з протилежного боку (точка F_5) вона буде знаходитись нижче поверхні робочого середовища. При цьому виникає перепад тиску, який спричинить переміщення робочого середовища в напрямку, показаному стрілкою V_2 .

Рух робочого середовища у напрямку стрілки V_3 спричинено гідроударними явищами, які розглянуті раніше. Для розрахунку параметрів циркуляційного руху застосовано інтегральні закони переносу, зокрема, теорему Ейлера про зміну кількості руху об'єму суцільного середовища [11].

$$\iiint_W \rho \vec{F} dW + \iint_{\sigma} \vec{p}_n d\sigma - \frac{\partial}{\partial t} \iiint_W \rho \vec{V} dW - \iint_{\sigma} \rho \vec{V} V_n d\sigma = 0 \quad (14)$$

де, ρ – поточна щільність робочого середовища в деякій точці; $\vec{F}$ – вектор масових сил, що діють в робочому середовищі; W – контрольний об'єм робочого середовища, обмежений контрольною поверхнею σ ; $\vec{p}_n$ – вектор сил тиску, що діють на елементи контрольної поверхні $d\sigma$; $\vec{V}$ – вектор швидкості в точці робочого середовища; V_n – нормальна складова швидкості на контрольній поверхні, визначена в додатному напрямку.

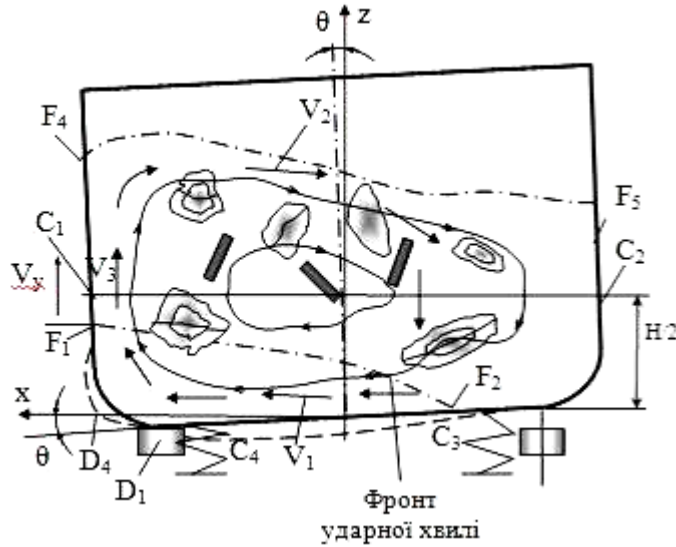


Рис. 5. Циркуляційний рух робочого середовища при несиметричному ударному навантаженні вібробункера

Виберемо контрольний об'єм у вигляді половини висоти робочого середовища. Він обмежений контуром C_1, C_2, C_3, C_4 (рис. 5). Для даного контрольного об'єму обчислено всі інтеграли, що входять у формулу (14). Масовою силою в даному об'ємі є гравітаційна сила. Тому, перший інтеграл визначено у вигляді

$$\iiint_W (\rho \vec{F}) dW = \iiint_W \rho g dW - \vec{k} \frac{M}{2} g, \quad (15)$$

де $\vec{k}$ – орт вісі z системи координат; g – прискорення вільного падіння; M – загальна маса робочого середовища у вібробункері.

Гравітаційна сила діє вниз, тому вона направлена протилежно вісі z . Для обчислення другого інтегралу приймемо, що тиск в перетині C_1C_2 дорівнює нулю, а в перетині C_3C_4 дорівнює гідроударному тиску p_y .

В перетинах C_1C_4 та C_2C_3 тиск змінюється від нуля до p_y по однаковому закону. Відповідно, значення другого інтеграла сили тиску:

$$\iint_{\sigma} \vec{p}_n d\sigma = \vec{i} (p_y S_{\phi} \cdot \sin \Theta + \tau_T S_{\phi} \cdot \cos \Theta) + \vec{k} (p_y S_{\phi} \cdot \cos \Theta + \tau_T S_{\phi} \cdot \sin \Theta), \quad (16)$$

де S_∂ – площа дна, обмеження по діаметру точками C_3C_4 , τ_T – середнє значення напруження тертя на дні вібробункера; Θ – кут нахилу вібробункера; $\vec{i}, \vec{k}$ – орти декартової прямокутної системи координат xz .

Напруження тертя наближено визначається формулою:

$$\tau_T = \frac{M/2}{S_0} \cdot \frac{S_\partial}{S_\partial} g f = \frac{Mgf}{2S_0}, \quad (17)$$

де S_0 – площа перетину вібробункера; f – коефіцієнт тертя робочого середовища по поверхні дна вібробункера.

Для обчислення третього інтегралу прийемо в якості припущення, що швидкість середовища змінюється від V_0 до нуля за час проходження ударної хвилі. Час проходження хвилі $t_y = \frac{H}{2V_y}$.

Відповідно

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_W \rho \vec{V} dW = -\vec{k} \frac{M}{2} \frac{V_0}{t_y} = -\vec{k} \frac{MV_0 2V_y}{2H} = -\vec{k} \frac{MV_0 V_y}{H}. \quad (18)$$

Інтеграл являє собою вектор, направлений вниз (прототип вісі z).

Для обчислення останнього інтеграла в формулі (14) прийемо, що циркуляційний рух найбільше інтенсивний в перетині контрольної поверхні C_1C_4 , яка відповідає фокусу вихрового руху. В останніх перетинах значення квадрата швидкості набагато менші і ними можна знехтувати. При цьому

$$\iint_\sigma \rho \vec{V} V_n d\sigma = \vec{i} \rho b \frac{H}{2} V_c^2, \quad (19)$$

де V_c – середня швидкість середовища в перетині C_1C_4 , b – еквівалентна товщина виділеного об'єму.

Підставимо значення інтегралів у векторну рівність (14) і одержимо:

$$\begin{aligned} & -\vec{k} \frac{Mg}{2} + \vec{i} \left(P_y S_\partial \cdot \sin \Theta - \frac{Mgf S_\partial \cos \Theta}{2S_0 f} \right) + \vec{k} \left(P_y S_\partial \cdot \cos \Theta + \frac{Mgf S_\partial \sin \Theta}{2S_0 f} \right) - \\ & -\vec{k} \frac{MV_0 V_y}{H} - \vec{i} \rho \frac{bH}{2} V_c^2 = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Із даної векторної рівності в проекціях на вісі координат одержимо систему рівнянь:

$$\begin{cases} -\frac{Mg}{2} + P_y S_\partial \cdot \cos \Theta + \frac{Mgf S_\partial \sin \Theta}{2S_0} - \frac{MV_0 V_y}{H} = 0 \\ P_y S_\partial \cdot \sin \Theta - \frac{Mgf S_\partial \cos \Theta}{2S_0} - \rho \frac{bH}{2} V_c^2 = 0. \end{cases} \quad (21)$$

Виключимо із даної системи невідому величину $P_y S_\partial$. Для цього домножимо перше рівняння на $\sin \Theta$, а друге – на $(-\cos \Theta)$ і додамо рівняння. Одержимо:

$$-\frac{Mg}{2} \sin \Theta + \frac{Mgf \sin^2 \Theta}{2S_0} + \frac{MV_0 V_y \sin \Theta}{H} - \frac{Mgf \cos^2 \Theta}{2S_0 f} + \rho \frac{bH}{2} V_c^2 \cos \Theta = 0.$$

Із даного рівняння визначимо середню швидкість циркуляційного руху:

$$V_c = \sqrt{2\xi H \left[\left(\frac{g}{2} + \frac{V_0 V_y}{H} \right) \Theta - \frac{g}{2} \frac{S_\partial}{S_0} f \right]} \quad (22)$$

де позначено $\xi = \frac{M}{\rho b H^2}$ і враховано $\cos \Theta \approx 1$, $\tan \Theta \approx \Theta$.

Подамо середню швидкість у вигляді:

$$V_c = \sqrt{2g\xi H \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{V_0 V_y}{gH} \right) \Theta - \frac{S_\theta}{2S_0} f \right]}. \quad (23)$$

Середня кутова швидкість циркуляційного руху складе:

$$\omega_c = \frac{4V_c}{H}. \quad (24)$$

Висновки. Сферичний рух вібробункера визначається законом включення електромагнітів і приводить до спірального руху вібробункера в усталених динамічних режимах. Перехідні процеси мають місце при включенні електромагнітів і проявляються у вигляді складних поперечно-кутових переміщеннях вібробункера. Перехідні процеси обумовлюють значні динамічні навантаження на робоче середовище.

Ударно-імпульсні навантаження на вібробункер приводять до виникнення повільного циркуляційного руху робочого середовища. Даний рух інтенсифікується при несиметричному ударному навантаженні. Циркуляційний рух має вигляд кільцевого або дугоподібного вихрового кільця, яке охоплює весь об'єм робочого середовища. Для визначення характеру вихрового руху допустимим є застосування закону зміни кількості руху в інтегральній формі для виділеного контрольного об'єму робочого середовища. Середня швидкість циркуляційного руху залежить від інтенсивності удару, швидкості вібробункера до удару та маси робочого середовища. Кутова швидкість вихрового руху пропорційна середній швидкості циркуляційного руху.

В робочому середовищі має місце хаотичний рух окремих елементів (гранул абразиву) який обумовлений ударними навантаженнями на гранулу з боку сусідніх гранул. Хаотичний рух проявляється у вигляді відхилень траєкторії руху окремої гранули від середньої траєкторії циркуляційного руху. Відхилення траєкторії близьке до гармонічного (синусоїдального) закону.

Інформаційні джерела

1. Афтаназів І.С., Гавриш А.П. та ін. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.
2. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей в абразивной среде. – М.: “Машиностроение”, 1986. – 132с.
3. Бабичев А.П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей / А.П. Бабичев, Л.К. Зеленцов, Ю.М. Самодумский. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1981. – 160 с.
4. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии: Часть 2. Технология вибрационной обработки / А.П. Бабичев.-Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1994. – 89 с.
5. Бабичев А.П. Технологические испытания абразивных гранул из шлифовального шлама (на полимерном связующем) / А.П. Бабичев, Н.С. Зинченко, О.К. Сикизова // Вопросы вибрационной технологии, 2006. – С 214–217.
6. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / А.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 410 с.
7. Берник П.С. Аналіз конструкцій вібраційних технологічних полічастотних машин для оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей / П.С. Берник, Л.В. Ярошенко, Р.М. Горбатюк // Вібрації в техніці та технологіях. – 2000. – №2(14). – С. 7–14.
8. Димов Ю.В. Управление качеством поверхностного слоя детали при обработке абразивными гранулами: автореф. дис. ... докт. техн. наук. / Ю.В. Димов. – Минск, 1987. – 35 с.
9. Карташов Г.Л., Власов О.А., Банатов С.В. Обработка деталей свободными абразивами у вибрирующих резервуарах. – К.: “Наукова думка”, 1975. – 378с.
10. Лубенская Л.М. Особенности шпиндельной обработки деталей в среде свободного абразива / Л.М. Лубенская, Е.В. Нечай, Г.Ю. Бурлакова // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – №4(56). – С. 97–102.
11. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: в 2-х томах. Т 2. Динамика. – М.: Наука, 1983. – 640с.
12. Струтинський В.Б., Симонюк В.П., Денисюк В.Ю. Вдосконалення обладнання та процесу ударно-імпульсної обробки деталей у вібробункері: монографія. – Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна друкарня “Волиньполіграф”TM, 2016. – 139 с.

¹Струтинский В.Б., д.т.н., ²Симонюк В.П., к.т.н., ²Денисюк В.Ю., к.т.н.

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

²Луцкий национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МЕДЛЕННОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ВИБРОБУНКЕРА

В статье представлены результаты исследований закономерностей циркуляционного вихревого движения рабочей среды и перемещения корпуса вибробункера при его симметрической ударно-импульсной нагрузке. Установлено, что ударно-импульсные нагрузки на вибробункер приводят к возникновению медленного циркуляционного движения рабочей среды, которое интенсифицируется при несимметричной ударной нагрузке. Циркуляционное движение имеет вид кольцевого или дугообразного вихревого кольца, которое охватывает весь объем рабочей среды.

Для определения характера вихревого движения допустимо применение закона изменения количества движения в интегральной форме для выделенного контрольного объема рабочей среды. Средняя скорость циркуляционного движения зависит от интенсивности удара, скорости вибробункера к удару и массы рабочей среды. Угловая скорость вихревого движения пропорциональна средней скорости циркуляционного движения.

Ключевые слова: *вибрационная абразивная обработка, вибробункер, циркуляционное движение, электромагнит, абразивный материал, ударная волна.*

¹V. Strutytsky, ²V. Denysiuk, ²V. Symonyuk

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky»

²Lutsk National Technical University

INVESTIGATION OF SLOWLY CIRCULATING VORTEX MOTION IN THE WORKING ENVIRONMENT IN VIBROBUNKER

The article presents the results of investigations of the regularities circulation vortex motion of the working medium and the displacement of the body of the vibrating box with its symmetric shock-impulse load. It is established that shock-impulse loads on the vibrating box lead to the appearance of a slow circulation motion of the working medium, which is intensified with an asymmetrical impact load. The circulation movement has the form of an annular or arcuate vortex ring, which covers the entire volume of the working medium.

To determine the nature of the vortex motion, it is permissible to apply the law of change in the amount of motion in the integral form for the specified control volume of the working medium. The average speed of the circulation movement depends on the intensity of the impact, the velocity of the vibrating vibrator and the mass of the working medium. The angular velocity of the vortex motion is proportional to the average velocity of the circulation motion.

Keywords: *vibration abrasive treatment, vibrobunker, circulating movement electromagnet, abrasive material, the shock wave.*

**ГЕНЕРУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ МЕХАНІЗМІВ МЕТОДОМ
МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ З ІЄРАРХІЧНИМ ГРУПУВАННЯМ**

Для підвищення продуктивності праці перевантажувальних операцій здійснено пошук ефективних гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами шляхом проведення синтезу їх конструкцій методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. В результаті виконаної роботи отримано цілу гамму конструкцій з транспортуючими кожухами.

Ключові слова: синтез, транспортуючий кожух, гвинтовий конвеєр, морфологічний аналіз.

Постановка проблеми. Гвинтові транспортно-технологічні механізми є одними з найпоширеніших засобів, що використовуються в різних галузях машинобудування. Вони використовуються для змішування, дозування, сепарації та необхідного переміщення сипких матеріалів. При виконанні ними транспортно-технологічних процесів не завжди досягається необхідне зменшення енерговитрат, а при підвищенні продуктивності часто виникають перевантаження, що призводять до значних деформацій та руйнувань елементів цих машин. Тому, для забезпечення високої продуктивності виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими механізмами є необхідність створення їх прогресивних конструкцій з транспортуючими кожухами, що дозволяють використовувати відцентрові сили при транспортуванні, а також частково впливати на процеси тертя між сипким матеріалом та робочими елементами гвинтового конвеєра, що дозволить підвищити продуктивність праці транспортних операцій.

Аналіз останніх досліджень. Питанням теоретичного обґрунтування процесу роботи гвинтових конвеєрів, методик розрахунку їх параметрів, розробки прогресивних конструкцій присвячені роботи А.М. Григор'єва [2], Б.М. Гевка [5], М.І. Пилипча [7], В.С. Ловейкіна [4], а питанням синтезу конструкцій в машинобудуванні методом морфологічного аналізу присвячені праці А.І. Половінкіна [8], Ю.М. Кузнєцова [3], В.М. Одріна [6] та інших. У відомих дослідженнях особлива увага звернута на питання вибору параметрів робочих органів і процесів транспортування вантажів, проте проблема підвищення продуктивності праці завжди залишатиметься актуальною.

Метою роботи є проведення синтезу методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу з отриманням конструкцій транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами з покращеними техніко-економічними характеристиками та експериментальне підтвердження цих характеристик.

Реалізація роботи. З метою підвищення продуктивності транспортування і змішування сипких матеріалів гвинтовими механізмами актуальним залишається питання пошуку їх прогресивних конструкцій. До таких механізмів належать гвинтові конвеєри з обертовими кожухами. Для пошуку конструкцій транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами (ТТМТК) використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [1]. У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес транспортування сипких матеріалів гвинтовими механізмами при використанні структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу було визначено обмежену кількість складових елементів та зв'язків між ними, які представляють конструктивні ознаки механізму, на основі чого складено морфологічну матрицю у вигляді таблиці 1. Вона поділена на стовпці, в заголовках яких представлені морфологічні ознаки елементів ТТМТК і зв'язки між ними, а до їх складу внесено альтернативи кожної ознаки без критичного аналізу. Обрані наступні основні морфологічні ознаки: привід, кожух, гвинтовий робочий орган (ГРО), механізм завантаження та опорно-руховий механізм.

Морфологічну модель конструктивних ознак елементів ТТМТК (табл. 1) можна представити у вигляді морфологічної матриці (1), що утворена шляхом числового позначення відповідних альтернатив розміщених у стовпцях морфологічної таблиці [3]:

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_j = \prod_{j=1}^n K_j, \quad (1)$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

де n – характеристика; K_j – число альтернатив характеристики.

$$N_{\text{АКІЕ}} = \left| \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \\ 3.5 \\ 3.6 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \\ 10.4 \\ 10.5 \\ 10.6 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \\ 13.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \end{array} \right| = 391910400$$

Загальна кількість синтезованих варіантів конструктивних виконань ТТМТК є надто значне, й тому для скорочення варіантів рішень використано метод синтезу ієрархічних груп з розбивкою їх на підгрупи за допомогою морфологічного аналізу, де кількість варіантів визначається по формулі [1]:

$$N = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (2)$$

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня; q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивної ознаки елементу певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

Загальна кількість генерованих варіантів ТТМТК при використанні запропонованого методу синтезу становитиме:

$$N_{\text{АКІЕ}} = \left| \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \\ 3.5 \\ 3.6 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \\ 10.4 \\ 10.5 \\ 10.6 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \\ 11.4 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 12.1 \\ 12.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \\ 13.5 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \end{array} \right| = 60.$$

Це значно менше (у 6,5 млн. разів), ніж при використанні класичного методу синтезу, що дозволяє швидко здійснити перебір варіантів і відібрати найбільш раціональні конструкції ТТМТК. Модель механічної системи ТТМТК згідно запропонованого групування представлено на рисунку 1.

Використовуючи даний метод синтезу було розроблено конструкції ТТМТК, які в порівнянні з традиційними гвинтовими завантажувачами значно підвищують продуктивність транспортування за рахунок використання транспоруючого кожуха. Крім того, окремі синтезовані конструкції можуть використовуватись як змішувачі при зустрічному обертанні спіралей ГРО та кожуха за використовувати стрічкові, лопатеві чи інших ГРО. На частину з синтезованих конструкцій отримано патенти на корисну модель України, а частина синтезованих конструкцій знаходиться на стадії розгляду на отримання патентів на винаходи. Так на рис. 2 зображено синтезовані конструкції ТТМТК, на окремі з яких уже одержано позитивні рішення на отримання патентів України. У конструкціях зображених на рис. 2.а - рис. 2.г та на рис. 2.ж завантажувальні лопаті закріплені на ГРО, в конструкції зображеній на рис. 2.є завантажувальні лопаті закріплені на кожусі, а в конструкції зображеній на рис. 2.з завантажувальні лопаті закріплені на ГРО, а завантажувальні гвинтові елементи закріплені на кожусі. Також на рис. 2 представлено конструкції ТТМТК з механізм завантаження через насадку (рис. 2.д з насадкою з нерегульованим завантаженням і рис. 2.ж з насадкою з регульованим завантаженням) і з бункера (рис. 2.е). Моделі транспортно-технологічних механізмів, зображені на рис. 2.б - рис. 2.є та на рис. 2.з, спроектовано з рухомими обертовими кожухами.

На основі проведеного синтезу розроблено класифікацію ТТМТК за конструктивними ознаками, яку представлено на рис. 3.

На основі проведеного патентного пошуку, аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [9] нами розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами (рис. 2), на базі яких спроектовано і виготовлено експериментальну установку (рис. 4).

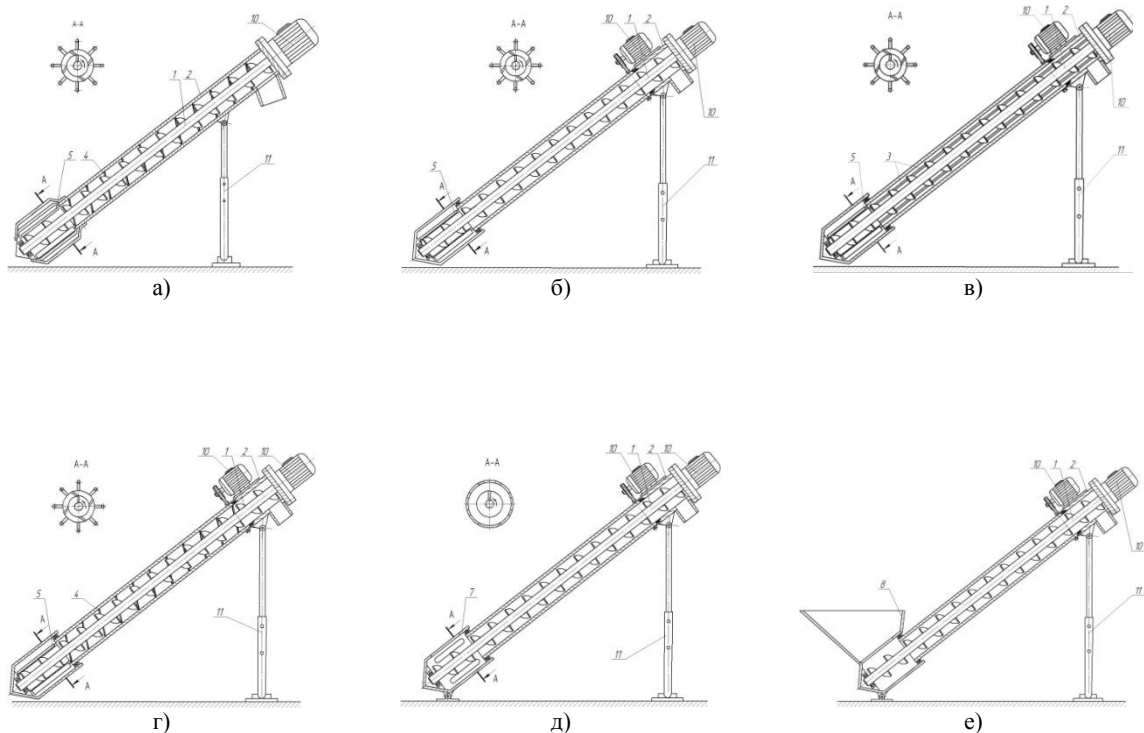
Таблиця 1

Морфологічна таблиця конструктивних ознак гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами

Привід		Кожух		Гвинтовий робочий орган					Механізм завантаження				Опорно-руховий механізм	
1. Тип	2. Кількість	3. Форма внутрішньої поверхні	4. Напрям обертання	Рух		7. Форма розташування спіралей	8. Вид	9. Кількість	10. Підби-роч	11. Бункер	12. Насадка	13. Завантажувальні лопаті	14. Тип	15. Вид
				5. Тип	6. Напрям обертання									
1.1. Електро-привід 1.2. Пневмопривід 1.3. Вібропривід 1.4. Гідропривід 1.5. Двигун внутрішнього згорання	2.1. Один 2.2. Два 2.3. Кілька	3.1. Плоска з підвищеною чистотою поверхні 3.2. Плоска з підвищеною шорсткістю поверхні 3.3. З впадинами розташованими в осьовому напрямку 3.4. Зі спіральними впадинами 3.5. З планками розташованими в осьовому напрямку 3.6. Зі спіраллю	4.1. Лівий 4.2. Правий 4.3. Без обертання	5.1. Безперервний 5.2. Циклічний 5.3. З тимчасовими зупинками 5.4. З прискореннями і сповільненнями	6.1. Лівий 6.2. Правий 6.3. Без обертання	7.1. Одна по-ряд з іншою 7.2. Концентрична	8.1. Спіральний 8.2. Стрічковий 8.3. Гофрований 8.4. Лопатевий 8.5. Пружинний 8.6. Нахилений 8.7. З вирізами чи отворами	9.1. Один 9.2. Два 9.3. Декілька	10.1. З паралельним розташуванням до ГРО 10.2. З перпендикулярним розташуванням до ГРО 10.3. Односпіральний 10.4. Багатоспіральний 10.5. З постійним кроком спіралі 10.6. Зі змінним кроком спіралі	11.1. Із регульованим завантаженням 11.2. З нерегульованим завантаженням 11.3. Із захисною решіткою 11.4. Без захисної решітки	12.1. З регульованим завантаженням 12.2. З нерегульованим завантаженням	13.1. Прямі закріплені на ГРО 13.2. Прямі закріплені на кожусі 13.3. Гвинтові закріплені на ГРО з іншим напрямком навивки до ГРО 13.4. Гвинтові закріплені на кожусі з іншим напрямком навивки до базової спіралі ГРО 13.5. Закріплені на кожусі і ГРО	14.1. Колісний 14.2. Колісно-опорний 14.3. Опорний	15.1. Регульований по висоті підняття матеріалу 15.2. Нерегульований по висоті підняття матеріалу 15.3. Регульований по горизонталі 15.4. Нерегульований по горизонталі

$N_{ГКОК} = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i = 60.$	
I(1) I(2) II(2) III(2) IV(2) V(2) VI(2)	I(1)3 ₁ , I(1)3 ₂ , I(1)3 ₃ , I(1)3 ₄ , I(1)3 ₅ , I(1)3 ₆ II(1)4 ₁ , II(1)4 ₂ , I(1)4 ₃
I(3) II(3) III(3) IV(3)	I(2)2 ₁ , I(2)2 ₂ , I(2)2 ₃ II(2)6 ₁ , II(2)6 ₂ , II(2)6 ₃ III(2)7 ₁ , III(2)7 ₂ IV(2)8 ₁ , IV(2)8 ₂ , IV(2)8 ₃ , IV(2)8 ₄ , IV(2)8 ₅ , IV(2)8 ₆ , IV(2)8 ₇ V(2)10 ₁ , V(2)10 ₂ , V(2)10 ₃ , V(2)10 ₄ , V(2)10 ₅ , V(2)10 ₆ VI(2)11 ₁ , VI(2)11 ₂ , VI(2)11 ₃ , VI(2)11 ₄ VII(2)12 ₁ , VII(2)12 ₂ VIII(2)13 ₁ , VIII(2)13 ₂ , VIII(2)13 ₃ , VIII(2)13 ₄ , VIII(2)13 ₅
I(3) II(3) III(3) IV(3)	I(3)1 ₁ , I(3)1 ₂ , I(3)1 ₃ , I(3)1 ₄ , I(3)1 ₅ II(3)5 ₁ , II(3)5 ₂ , II(3)5 ₃ , II(3)5 ₄ III(3)9 ₁ , III(3)9 ₂ , III(3)9 ₃ IV(3)14 ₁ , IV(3)14 ₂ , IV(3)14 ₃ V(3)15 ₁ , V(3)15 ₂ , V(3)15 ₃ , V(3)15 ₄

Рис. 1. Модель механічної системи «Транспортно-технологічні механізми з транспортуючими кожухами»: I-VIII – відповідні підгрупи ієрархічного рівня; (1)-(3) – відповідні ієрархічні рівні



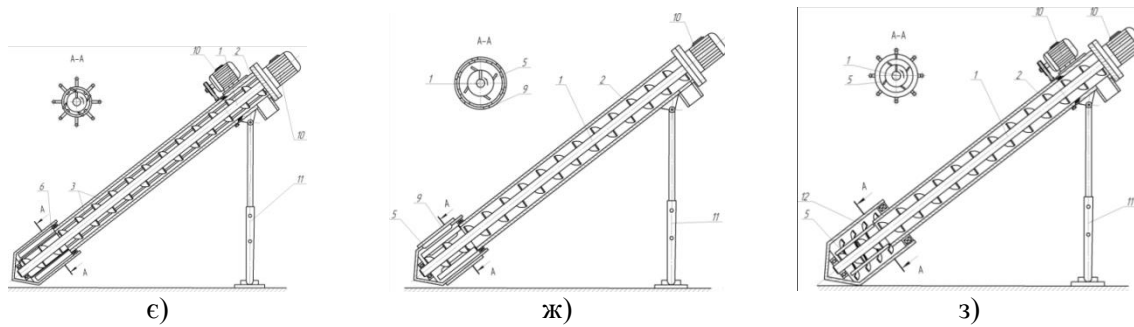


Рис. 2. Синтезовані моделі гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами: а) з завантажувальними лопатями ГРО (пат. України № 106100); б) з обертовим кожухом (пат. України № 106099); в) з транспортуючим кожухом з прямими елементами (пат. України № 111207); г) з транспортуючим кожухом з гвинтовими елементами (пат. України № 106962); д) з насадкою; е) з бункером; є) з завантажувальними лопатями кожуха; ж) з регульованим завантаженням (заявка на пат. України u2017 01934); з) з завантажувальними лопатями ГРО та кожуха (заявка на пат. України u2017 01919); 1) гвинтовий робочий орган; 2) кожух; 3) транспортуючі прямі елементи кожуха; 4) транспортуючий гвинтовий елемент кожуха; 5) завантажувальні лопаті ГРО; 6) завантажувальні лопаті кожуха; 7) насадка з нерегульованим завантаженням; 8) бункер з нерегульованим завантаженням; 9) регулятор завантаження насадки; 10) привід; 11) опорно-руховий механізм; 12) завантажувальні гвинтові елементи кожуха

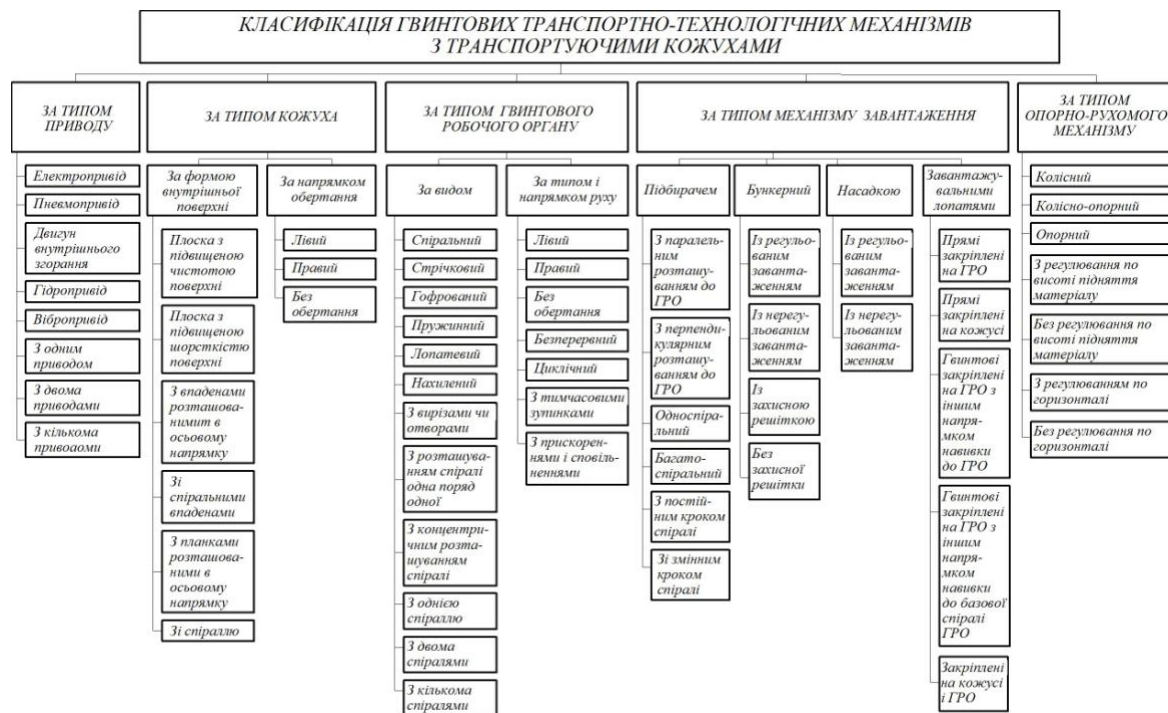


Рис. 3. Класифікація гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами за конструктивними ознаками

Експериментальна установка [10] може працювати у режимі прискореного транспортування вантажу та у режимі змішування сипких матеріалів. У першому випадку кожух обертається проти напрямку обертання шнека, у другому випадку – у напрямку обертання шнека. Сипкий матеріал через бункер потрапляє в кожух на шнек, яким і здійснюється його транспортування. Обертові рухи шнека та кожух отримують через пасові передачі від двигунів, керування якими здійснюється з ПК через частотний перетворювач із фіксацією усіх необхідних даних у табличному чи графічному вигляді згідно розробленої методики проведення експериментальних досліджень. Продуктивність гвинтового конвеєра при різних коефіцієнтах заповнення кожуха та частотах обертання шнека та кожуха визначається в автоматизованому режимі. Силкові характеристики можна визначати при плавному та різкому пуску, реверсуванні

та моделюванні різноманітних навантажень в автоматизованому режимі за допомогою перетворювача частоти та персонального комп'ютера.



Рис. 4. Загальний вигляд експериментальної установки при проведенні експериментів

Розроблене експериментальне устаткування для проведення досліджень гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами у повній мірі дозволяє провести експериментальні дослідження цих систем згідно розроблених методик, а використання перетворювача частоти серії Altivar і ПК з програмним забезпеченням PowerSuite версії 2.3.0 дозволяє проводити експериментальні дослідження з можливістю моделювання досліджуваних процесів в широких діапазонах з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження.

Загальний вигляд рівняння регресії продуктивності Q в т/год. залежно від зміни частоти обертання шнека n від 300 до 700 об/хв., частоти обертання кожуха n_k від 200 до 760 об/хв. та кута нахилу конвеєра γ від 14 до 36 градусів за результатами проведених повнофакторних експериментів дорівнює:

- під час транспортування кукурудзи:

$$Q_{(n,n_k,\gamma)} = -1,22 + 1,31 \cdot 10^{-2} n + 5,69 \cdot 10^{-3} n_k + 9,28 \cdot 10^{-2} \gamma + 3,23 \cdot 10^{-6} n n_k - 4,95 \cdot 10^{-5} n \gamma - 2,04 \cdot 10^{-6} n_k \gamma + 3,48 \cdot 10^{-6} n^2 - 5,79 \cdot 10^{-6} n_k^2 - 1,87 \cdot 10^{-3} \gamma^2; \quad (3)$$

- під час транспортування пшениці:

$$Q_{(n,n_k,\gamma)} = -1,242 + 1,36 \cdot 10^{-2} n + 5,969 \cdot 10^{-3} n_k + 9,741 \cdot 10^{-2} \gamma + 3,41 \cdot 10^{-6} n n_k - 5,182 \cdot 10^{-5} n \gamma - 2,029 \cdot 10^{-6} n_k \gamma + 3,8 \cdot 10^{-6} n^2 - 6,03 \cdot 10^{-6} n_k^2 - 1,967 \cdot 10^{-3} \gamma^2; \quad (4)$$

- під час транспортування ячменю:

$$Q_{(n,n_k,\gamma)} = -0,974 + 1,053 \cdot 10^{-2} n + 4,55 \cdot 10^{-3} n_k + 7,342 \cdot 10^{-2} \gamma + 2,571 \cdot 10^{-6} n n_k - 3,909 \cdot 10^{-5} n \gamma - 1,218 \cdot 10^{-6} n_k \gamma + 2,75 \cdot 10^{-6} n^2 - 4,592 \cdot 10^{-6} n_k^2 - 1,488 \cdot 10^{-3} \gamma^2. \quad (5)$$

Визначено мінімальну частоту обертання кожуха для запуску гвинтового конвеєра після його вимушеної зупинки. Для руху сипкого матеріалу вгору по осі гвинтового робочого органу, частота обертання кожуха повинна бути тим більшою, чим більший крок витків гвинтового робочого органу, кут нахилу осі гвинтового робочого органу до горизонталі, коефіцієнт тертя між матеріалом і поверхнею гвинтового робочого органу і чим менший радіус внутрішньої поверхні кожуха і коефіцієнт тертя між матеріалом і поверхнею кожуха.

$$n_k = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \left(\sin \gamma \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{T}{2\pi R} + \operatorname{arctg} f_1 \right) \left(1 + \frac{1}{f_2} \right) + \cos \gamma \right)}{R_1}}, \quad (6)$$

де T – крок витків шнека по зовнішньому радіусу; g – прискорення вільного падіння; R_1 – радіус внутрішньої поверхні кожуха; f_1 – коефіцієнт тертя між сипким матеріалом і поверхнею шнека; f_2 – коефіцієнт тертя між сипким матеріалом і поверхнею кожуха; R – зовнішній радіус шнека.

Висновок: 1. Проведено структурний синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано ряд конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками, що дало можливість частково вирішити питання підвищення продуктивності транспортування сипких вантажів.

2. За результатами досліджень встановлено, що підвищення частоти обертання кожуха призводить до підвищення продуктивності гвинтового конвеєра на 18-25% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. Також підвищення частоти обертання кожуха вище 620 об/хв. є нераціональним, оскільки це не змінює продуктивність конвеєра. Рациональною є частота обертання кожуха від 480 до 600 об/хв., оскільки при цьому відбувається найбільший приріст продуктивності гвинтового конвеєра, при різних частотах обертання шнека.

Інформаційні джерела

1. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
2. Григорьев А. М. Гибкие шнеки / А. М. Григорьев, П. А. Преображенский. – К. : Знание, 1967. – 98 с.
3. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, Р. А. Складаров]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – К. : ТОВ «ЗМОК». – ПП «ГНОЗИС», 2004. – 323 с.
4. Ловейкін В. С. До розрахунку швидкохідних гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 21. – С. 130–141.
5. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
6. Одрин В. М. Морфологический анализ систем: Построение морфологи-ческих матриц / В. М. Одрин, С. С. Картавов. – К. : Наукова думка, 1977. – 183 с.
7. Пилипець М. І. Обґрунтування нових типів гвинтових робочих органів сільськогосподарських машин / М. І. Пилипець, І. Б. Гевко // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – 2000. – Т. 9. – С. 254–257.
8. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: [учеб. пособие для студентов вузов] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
9. Синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами / [Р.М. Рогатинський, Ів.Б. Гевко, А.С. Дячун та ін.] // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 149-155.
10. Стендове обладнання для дослідження модернізованих гвинтових конвеєрів / [І. Гевко, А. Дячун, А. Мельничук та ін.] // Вісник НУВГП. – 2016. – № 3 (75). – С. 274–282.

Рогатинский Р.М., д.т.н., Гевко Ив.Б., д.т.н., Дячун А.Э., к.т.н., Варьян А.Г., Мельничук А.Л., Шуст И.М.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

ГЕНЕРИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВИНТОВОЙ МЕХАНИЗМ МЕТОДОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ

Для повышения производительности труда перегрузочных операций осуществлен поиск эффективных винтовых транспортно-технологических механизмов с транспортирующими кожухами путем проведения синтеза их конструкций методом иерархических групп с помощью морфологического анализа. В результате проделанной работы получено целую гамму конструкций с транспортирующими кожухами.

Ключевые слова: синтез, транспортирующий кожух, винтовой конвейер, морфологический анализ.

R. Rogatinskiy, Iv. Hevko, A. Dachun, A. Varian, A. Melnychuk, I. Shust

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

GENERATION DESIGNS BY MECHANISMS SCREW MORPHOLOGICAL ANALYSIS WITH HIERARCHICAL CLUSTERING

To increase the productivity of the handling operations carried out the search for effective screw transport about technological mechanisms with transporting the shrouds by conducting a synthesis of their structures using hierarchical groups by using morphological analysis. The result of this work received a whole range of designs with transporting covers.

Keywords: synthesis, transporting the casing, a screw conveyor, morphological analysis.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СНИЖЕНИЯ СИЛОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе теоретически обоснованы условия уменьшения параметров силовой и тепловой напряженности прерывистого шлифования, состоящие в уменьшении энергоемкости обработки в связи с ударным характером взаимодействия рабочего выступа прерывистого круга и обрабатываемого материала и возможностью поддержания его высокой режущей способности за счет осуществления высокопроизводительной правки прерывистого круга в процессе обработки, а также в уменьшении времени взаимодействия рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом. Показано, что при прерывистом шлифовании можно существенно уменьшить интенсивность трения связки круга с обрабатываемым материалом, являющегося основным очагом силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. На этой основе раскрыты закономерности формирования тангенциальной составляющей силы резания и температуры резания при прерывистом шлифовании. Доказано, что существует оптимальное значение времени контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом, обеспечивающее достижение минимальной температуры резания, и которое может быть использовано для расчета оптимального количества рабочих выступов и впадин на рабочей поверхности прерывистого круга, их протяженности и соответственно основных технико-экономических показателей прерывистого шлифования.

Ключевые слова: прерывистое шлифование, сила резания, температура резания, энергоемкость обработки, трение связки круга с материалом, рабочий выступ круга, правка круга.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами. Прерывистое шлифование является одним из наиболее эффективных методов шлифования, обеспечивающих повышение качества и производительности обработки деталей машин. Основной эффект прерывистого шлифования состоит в снижении температуры резания за счет периодичности контакта прерывистого круга с обрабатываемым материалом и возможности частичного охлаждения зоны резания в момент прерывания процесса. Кроме того, в результате ударного характера взаимодействия прерывистого круга с обрабатываемой деталью происходит самооформление профиля круга (т.е. его постоянная правка), что приводит к непрерывному обновлению режущего рельефа круга и снижению энергоемкости обработки. Такой двойной эффект шлифования исключает образование на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и других температурных дефектов и обеспечивает высококачественную обработку даже в условиях съема значительных припусков, т.е. метод прерывистого шлифования можно использовать как при окончательной, так и предварительной обработке. При этом актуальной задачей является проведение обобщенного теоретического анализа условий уменьшения силовой и тепловой напряженности прерывистого шлифования и определение оптимальных условий обработки. Исследования выполнены в соответствии с тематическим планом научно-практических работ Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко.

Анализ последних достижений и публикаций. Физические и технологические основы прерывистого шлифования разработаны проф. Якимовым А.В. [1], в которых обоснованы прогрессивные конструкции прерывистых кругов, оптимальные режимы шлифования и даны практические рекомендации по эффективному применению прерывистого шлифования. В совместных работах Якимова А.В., Якимова А.А., Новикова Ф.В., Новикова Г.В. [2-5] разработаны теоретические основы прерывистого шлифования, состоящие в установлении функциональных связей между параметрами силовой и тепловой напряженности процесса шлифования и определении условий их уменьшения. Настоящая работа является дальнейшим развитием этих исследований и направлена на выявление, обоснование и реализацию новых резервов повышения эффективности прерывистого шлифования.

Цель работы – снижение силовой и тепловой напряженности прерывистого шлифования, повышения качества и производительности обработки на основе теоретического определения оптимальных условий прерывистого шлифования.

Материалы исследований. В работе [6] эффективность прерывистого шлифования предложено оценивать с позиции влияния на силы и температуру резания множителя $(1 + l_2 / l_1)$, характеризующего время прерывания процесса шлифования в момент прохождения впадины прерывистого круга зоны резания. В работе [7] показано, что условное напряжение резания (энергоемкость механической обработки) σ , в частности процесса шлифования, зависит от суммы условного переднего угла режущего зерна γ и условного угла трения режущего зерна с обрабатываемым материалом ψ :

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{(\psi + \gamma)}{2}\right)}, \quad (1)$$

где $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м².

Чем меньше эти углы, тем меньше энергоемкость обработки σ и выше эффективность шлифования. Очевидно, при прерывистом шлифовании, вследствие ударного характера взаимодействия рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом, процесс обновления режущего контура круга будет происходить интенсивнее, режущие зерна будут выступать над уровнем связки на большую высоту и будут острее. Поэтому условные углы γ и ψ будут меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Согласно зависимости (1), это приведет к уменьшению энергоемкости обработки σ . Однако это может не привести к уменьшению тангенциальной составляющей силы резания $P_z = \sigma \cdot S_{мгн}$, которая зависит от производительности обработки $Q = Q_0 \cdot (1 + l_2 / l_1)$, достигаемой в момент контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом:

$$P_z = \sigma \cdot \frac{Q_0 \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{V_{кр}}, \quad (2)$$

где $S_{мгн} = Q / V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; Q_0 – производительность обработки при шлифовании сплошным кругом, м³/с; l_1 , l_2 – соответственно, длины рабочего выступа и впадины прерывистого круга, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Поскольку рабочий выступ прерывистого круга вынужден удалять оставшийся после прохождения впадины слой металла, то очевидно, производительность обработки Q в момент прохождения рабочего выступа круга будет больше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом Q_0 . Это приведет к увеличению тангенциальной составляющей силы резания P_z . Поэтому P_z зависит от двух противоположно изменяющихся параметров: σ и Q , первый из которых уменьшается, а второй увеличивается при прерывистом шлифовании.

Экспериментально установлено [1], что при прерывистом шлифовании, как правило, тангенциальная составляющая силы резания P_z меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Следовательно, интенсивность уменьшения энергоемкости обработки σ выше интенсивности увеличения множителя $(1 + l_2 / l_1)$. Это связано с тем, что отношение (l_2 / l_1) изменяется в небольших пределах и не приводит к существенному увеличению множителя $(1 + l_2 / l_1)$ и соответственно тангенциальной составляющей силы резания P_z , тогда как даже незначительное уменьшение σ приводит к ощутимому (пропорциональному) уменьшению P_z . В этом и состоит физическая сущность снижения силовой напряженности прерывистого шлифования: за счет уменьшения суммы углов $(\psi + \gamma)$ уменьшается σ , а это предопределяет уменьшение P_z и соответственно температуры резания.

В работе [8] показано, что в общем случае тангенциальная составляющая силы резания P_z определяется двумя составляющими, обусловленными процессом резания и процессом трения связки круга с обрабатываемым материалом (рис. 1):

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{\text{дет0}}}{V_{\text{кр}}} + f_1 \cdot c \cdot (V_{\text{дет}} - V_{\text{дет0}}) \cdot \tau, \quad (3)$$

где F – площадь поперечного сечения среза обрабатываемого прямолинейного образца (детали), м^2 ; $V_{\text{дет}}$ – скорость детали, м/с ; $V_{\text{дет0}}$ – фактическая линейная скорость съема материала, м/с ($V_{\text{дет0}} \leq V_{\text{дет}}$); f_1 – коэффициент трения связки круга с обрабатываемым материалом; c – жесткость технологической системы, Н/м ; τ – время контакта круга с фиксированным сечением обрабатываемой поверхности, с .

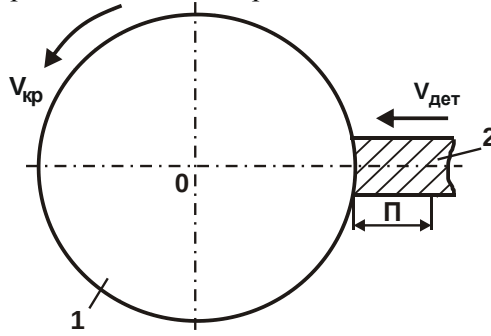


Рис. 1. Расчетная схема параметров процесса шлифования прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга: 1 – круг; 2 – деталь

Данная зависимость справедлива для обычного шлифования сплошным кругом. При прерывистом шлифовании, вследствие более высокого выступания режущих зерен над уровнем связки круга и их более высокой остроты, трение связки круга с обрабатываемым материалом будет меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Поэтому в первом приближении вторым слагаемым зависимости (3) можно пренебречь, т.к. $V_{\text{дет0}} \approx V_{\text{дет}}$. В итоге это приведет к снижению тангенциальной составляющей силы резания P_z . Кроме того, уменьшение энергоемкости обработки σ в первом слагаемом зависимости (3) также приведет к снижению P_z при прерывистом шлифовании. Однако при этом необходимо вместо $V_{\text{дет0}}$ рассматривать $V_{\text{дет0}} \cdot (1 + l_2 / l_1)$. Тогда зависимость (3) примет вид:

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{\text{дет0}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{V_{\text{кр}}}. \quad (4)$$

Температура резания θ при прерывистом шлифовании аналитически описывается:

$$\theta = \frac{q \cdot l}{\lambda} = \frac{\sigma \cdot V_{\text{дет0}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_m \cdot \rho}}, \quad (5)$$

где $q = \frac{N}{F} = \frac{P_z \cdot V_{\text{кр}}}{F}$ – плотность теплового потока, Вт/м^2 ; $l = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_m \cdot \rho}}$ – глубина проникновения образующегося в процессе шлифования тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м ; $N = P_z \cdot V_{\text{кр}}$ – мощность шлифования, Вт ; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$; c_m – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$; ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м^3 .

С учетом выражения $\tau = l_1 / V_{\text{кр}}$ зависимость (5) примет вид:

$$\theta = \sigma \cdot V_{\text{дет0}} \cdot \left(\sqrt{l_1} + \frac{l_2}{\sqrt{l_1}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (6)$$

Как видно, имеет место экстремум температуры резания θ от длины рабочего выступа прерывистого круга l_1 . Подчиняя функцию θ необходимому условию экстремума $\theta'_{l_1} = 0$, получено: $l_1 = l_2$, т.е. экстремальные значения длины рабочего выступа и впадины прерывистого круга одинаковы.

Вторая производная $\theta''_{l_1} > 0$, следовательно, в точке экстремума достигается минимум температуры резания θ . Этим показано, что добиться наименьшей температуры резания при прерывистом шлифовании можно при условии $l_1 = l_2$, тогда:

$$\theta_{min} = \sigma \cdot V_{dem0} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot l_1}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{кр}}} \quad (7)$$

Применительно к шлифованию сплошным кругом при условиях $l_2 = 0$ и $\tau = 2 \cdot l_1 / V_{кр}$ зависимость (5) принимает вид:

$$\theta = \sigma \cdot V_{dem0} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot l_1}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{кр}}} \quad (8)$$

Как видно, при шлифовании сплошным кругом температура резания θ меньше, чем при прерывистом шлифовании. Однако при этом следует учитывать, что энергоемкость обработки σ при прерывистом шлифовании меньше, а дополнительное охлаждение зоны резания в момент прерывания процесса шлифования также приводит к снижению температуры резания θ_{min} . Поэтому, очевидно, температура резания θ_{min} при прерывистом шлифовании будет меньше, чем при шлифовании сплошным кругом, что подтверждается известными экспериментальными данными. Таким образом, увеличение температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании вследствие того, что рабочий выступ прерывистого круга вынужден удалять оставшийся после прохождения впадины слой металла, с избытком компенсируется уменьшением энергоемкости обработки σ и дополнительным охлаждением зоны резания в момент прерывания процесса шлифования. Это приводит к снижению температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании, что согласуется с экспериментальными данными.

Из проведенного анализа следует, что температура резания зависит в основном от двух параметров: P_z и $l = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}$. Как показано выше, тангенциальная составляющая силы

резания P_z при прерывистом шлифовании может быть меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Время контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом τ и соответственно параметр l также меньше при прерывистом шлифовании вследствие периодичности процесса резания. Поэтому температура резания θ_{min} при прерывистом шлифовании меньше, что подтверждается известными экспериментальными данными. Как видно, уменьшение температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании происходит по двум каналам: путем уменьшения P_z и τ . Это указывает на значительные технологические возможности прерывистого шлифования, так как ни один из известных методов шлифования не обладает таким преимуществом – одновременно за счет снижения энергоемкости обработки и обеспечения дополнительного охлаждения зоны резания в момент прохождения впадины прерывистого круга – добиться существенного снижения температуры резания и исключить образование температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях без снижения производительности обработки. Этим подтверждается высокая эффективность практического применения предложенного профессором Якимовым А.В. прогрессивного метода прерывистого шлифования. Полученные решения использованы в производстве на операции прерывистого шлифования твердосплавных пластин, в результате чего достигнуто повышение качества и производительности обработки.

Выводы. Теоретически обоснованы условия уменьшения параметров силовой и тепловой напряженности прерывистого шлифования, состоящие в уменьшении энергоемкости обработки в связи с ударным характером взаимодействия рабочего выступа прерывистого круга и обрабатываемого материала и возможности осуществления высокопроизводительной правки круга в процессе обработки, а также в уменьшении времени взаимодействия рабочего выступа

круга с обрабатываемым материалом. Показано, что при прерывистом шлифовании можно существенно уменьшить интенсивность трения связки круга с обрабатываемым материалом, являющегося основным очагом силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. На этой основе раскрыты закономерности формирования тангенциальной составляющей силы резания и температуры резания при прерывистом шлифовании. Доказано, что существует оптимальное значение времени контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом, обеспечивающее достижение минимальной температуры резания, и которое может быть использовано для расчета оптимального количества рабочих выступов и впадин на рабочей поверхности прерывистого круга, их протяженности и соответственно основных технико-экономических показателей прерывистого шлифования.

Перспективы дальнейшей работы в данном направлении. В последующих работах следует теоретически установить влияние времени прерывания контакта прерывистого круга с обрабатываемым материалом на уменьшение температуры резания с учетом подачи охлаждающей жидкости в зону резания, что позволит расширить физические представления о технологических возможностях прерывистого шлифования и повысить эффективность его практического использования.

Информационные источники

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Якимов А.В. Высокопроизводительная обработка абразивно-алмазными инструментами / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов. – К.: Техніка, 1993. – 152 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с.
4. Тепловые и механические процессы при резании металлов: учеб. пособие / Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.
5. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов и др. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.
6. Якимов А.В. Физическая сущность и технологические возможности прерывистого шлифования / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков // Сучасні системи технологій у машинобудуванні. Збірник наукових праць, присвячений 90-річчю з дня народження професора Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ) Якимова О.В. – Д.: ЛПРА. – 2015. – С. 38-43.
7. Новіков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.
8. Новіков Ф.В. Фінішна обробка деталей різанням: монографія / Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 270 с.

Рябенков І.О., к.т.н.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНИЖЕННЯ СИЛОВОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ

В роботі теоретично обґрунтовано умови зменшення параметрів сигової та теплової напруженості переривчастого шліфування, які полягають в зменшенні енергоємності обробки в зв'язку з ударним характером взаємодії робочого виступу переривчастого круга та оброблюваного матеріалу і можливістю підтримки його високої різжучої здатності за рахунок здійснення високопродуктивної правки переривчастого круга в процесі обробки, а також у зменшенні часу взаємодії робочого виступу переривчастого круга з оброблюваним матеріалом. Показано, що при переривчастому шліфуванні можна суттєво зменшити інтенсивність тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом, що є основним осередком сигової та теплової напруженості процесу шліфування. На цій основі розкрито закономірності формування тангенціальної складової сили різання й температури різання при переривчастому шліфуванні. Доведено, що існує оптимальне значення часу контакту робочого виступу переривчастого круга з оброблюваним матеріалом, яке забезпечує досягнення мінімальної температури різання, і яке може бути використане для розрахунку оптимальної кількості робочих виступів і западин на робочій поверхні переривчастого круга, їх протяжності та, відповідно, основних техніко-економічних показників переривчастого шліфування.

Ключові слова: *переривчасте шліфування, сила різання, температура різання, енергоємність обробки, тертя зв'язки круга з матеріалом, робочий виступ круга, правка круга.*

I. Ryabenkov

Kharkov National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko

**REGULARITIES OF REDUCTION OF POWER AND THERMAL STRESS OF
INTERROGEN GRINDING**

The conditions for reducing the parameters of the power and thermal tension of intermittent grinding are theoretically justified, consisting in reducing the energy intensity of the treatment due to the impact character of the interaction of the working protrusion of the discontinuous circle and the material being processed, and the ability to maintain its high cutting ability due to the high-performance dressing of the discontinuous circle during processing, And also in the decrease in the time of interaction of the working protrusion of the discontinuous circle with the treated mother Alom. It is shown that with intermittent grinding, it is possible to significantly reduce the friction intensity of the wheel bundle with the material being processed, which is the main focus of the power and thermal tension of the grinding process. On this basis, the regularities of the formation of the tangential component of the cutting force and cutting temperature are revealed with intermittent grinding. It is proved that there is an optimal value of the contact time of the working protrusion of the discontinuous circle with the material to be treated, which ensures the achievement of the minimum cutting temperature and which can be used to calculate the optimum number of working protrusions and valleys on the working surface of the discontinuous circle, their extent and, accordingly, the main technical and economic indicators Intermittent grinding.

Keywords: *intermittent grinding, cutting force, cutting temperature, power consumption of processing, friction of the ligament of the circle with the material, working protrusion of the circle, correction of the circle.*

ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО
ДЕФОРМУВАННЯ СФЕРИЧНИМ ІНДЕНТОРОМ

Проведено дослідження теплових процесів під час алмазного вигладжування, на основі розрахунків розроблено схему розподілу теплоти, яка виділяється в ході оброблення. Виявлено, що в осередку деформації потужність тепловиділення, яка визначається величиною деформації, розподіляється по об'єму заготовки нерівномірно, отже по кривих твердості можна припустити, що інтенсивність джерела по трьох просторових координатах розподіляється по нормальному закону Гауса, а джерело нормально-еліпсоїдне. Визначено результуючі теплові потоки та їх величину. Підтверджено, що внутрішня поверхня індентора є більш навантаженою, тому при екстремальних режимах оброблення можна очікувати, що ця зона буде мати меншу стійкість до зношування тому в цій зоні будуть виникати припіки або інші дефекти поверхні деталі, пов'язані з тепловиділенням під час вигладжування.

Ключові слова: температура, модель, теплове джерело, поверхнева пластична деформація, рівняння теплового балансу

Алмазне вигладжування поверхонь широко використовується у виробництві. Низький коефіцієнт тертя алмаза по оброблюваній поверхні, його висока твердість та зносостійкість, а також висока чистота поверхні деформуючого елемента (індентора), дозволяють отримувати шляхом вигладжування, поверхні деталей з низькою шорсткістю та зміцненим шаром, в якому утворюються залишкові стискаючі напруження. Теплові процеси, що виникають під час поверхневого пластичного деформування (ППД), в значній мірі визначають фізико-механічні властивості поверхневого шару та здійснюють значний вплив на рівень зносостійкості обробленої поверхні [2-4].

При вигладжуванні утворення тепла відбувається за рахунок роботи деформації Q_d та роботи, затраченої на тертя ковзання $Q_{T.K.}$. значить загальна кількість тепла буде рівною $Q = Q_d + Q_{T.K.}$. Так, як утворене тепло витрачається на нагрівання заготовки Q_1 , індентора Q_2 , а решта відводиться в навколишнє середовище Q_3 , то справедливою буде рівність:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ тому: } Q_d + Q_{T.K.} = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (1)$$

Віддачею тепла в навколишнє середовище можна знехтувати, похибка при цьому буде складати близько 1%. В рівнянні (1) можна також не враховувати тепло, яке витрачається на нагрівання індентора. При лезовому обробленні металів тепло, що іде на нагрівання інструменту не перевищує 5% від його загальної кількості, тоді очевидно, що в ході вигладжування на нагрівання інструменту витрачається значно менша кількість теплоти, отже справедливим буде припущення: $Q_d \cong Q_1 \cong Q$. Під час ППД джерело тепла – місцеве і характеризується ефективною тепловою потужністю, тобто кількістю тепла, що вводиться за одиницю часу і розподілом тепла по об'єму. Через те, що тепло утворюється внаслідок пластичного деформування, то джерело повинно відповідати формі осередку деформації. Приблизне аналітичне рівняння такої задачі можна отримати на основі теорії теплових джерел.

Робота виконана при вигладжуванні, визначається тангенціальною силою та швидкістю. Відповідно, $A = P_T v$. Так як $P_T = P_k k$, можна записати $A = P_k k v$, де k – коефіцієнт тертя. Як раніше було прийнято, вся робота розходить на тепло, то його кількість, що утворюється за одиницю часу (потужність джерела) дорівнює: $q = \frac{P_k k v \cdot 1000}{427 \cdot 60}$ кал/сек або:

$q = 0,039 P_T v$ кал/сек, де P_T (кг), а v (м/хв). Пластична деформація супроводжується зміцненням металу, величина якого визначається мікротвердістю [9].

В осередку деформації поточна потужність тепловиділення, що визначається даною деформацією, нерівномірно розподіляється по об'єму заготовки. Відповідно по кривих твердості можна припустити, що інтенсивність джерела по трьох просторових координатах розподіляється по нормальному закону Гауса, а джерело, можна вважати нормально-еліпсоїдним. На практиці розподіл деформації має більш складний характер, тому допускається

схематизація процесу, яка спрощує аналітичне вирішення даної задачі, не створюючи значних похибок.

Отже, справедливим буде записати, що:

$$q_v = q_{(v)m} \exp(-k_1 x'^2 - k_2 y'^2 - k_3 z'^2), \quad (2)$$

де q_v – поточна потужність тепловиділення; $q_{(v)m}$ – максимальна потужність тепловиділення; k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти зосередження теплової потужності (в $1/\text{см}^2$), що характеризують форму кривих нормального розподілу.

Замінімо у формулі (2) коефіцієнти k_1, k_2, k_3 постійними часу t_1, t_2, t_3 отримаємо:

$$q_v = q_{(v)m} \exp\left(-\frac{x'^2}{4at_1} - \frac{y'^2}{4at_2} - \frac{z'^2}{4at_3}\right), \quad (3)$$

де $k_1 = \frac{1}{4at_1}$; $k_2 = \frac{1}{4at_2}$; $k_3 = \frac{1}{4at_3}$; a – коефіцієнт теплопровідності $\text{см}^2/\text{сек}$.

Постійні t_1, t_2, t_3 виражають час розповсюдження тепла фіктивного точкового джерела по напрямках осей XYZ. При цьому слід пам'ятати, що фіктивне джерело введене в точку O на t_1, t_2, t_3 забезпечує такий самий розподіл тепла, який дає нормально-еліпсоїдне джерело [7, 8].

Зв'язок ефективної потужності джерела q з розподілом інтенсивності тепловиділення джерела виражається рівнянням:

$$q = 4q_{(v)m} \sqrt{(\pi a)^3 t_1 t_2 t_3}. \quad (4)$$

При відомих значеннях q, t_1, t_2, t_3 з рівняння (4) можна визначити параметр $q_{(v)m}$.

Процес розповсюдження тепла в нескінченному теплопровідному тілі описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = a \Delta^2 \theta, \quad (5)$$

де Δ^2 – оператор Лапласа для прямокутної системи координат; λ – коефіцієнт теплопровідності $\text{кал}/\text{см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$; c – коефіцієнт теплоємності $\text{кал}/\text{г} \cdot ^\circ\text{C}$; γ – питома маса $\text{г}/\text{см}^3$.

Якщо, в початковий момент часу t_0 в нескінченно малому об'ємі цього тіла dx, dy, dz зосередити Q калорій тепла, то закон вирівнювання температури від такого миттєвого точкового джерела буде дорівнювати:

$$\theta(R, t) = \frac{Q}{c\gamma(4\pi at)^{3/2}} e^{-\frac{R^2}{4at}}, \quad (6)$$

тут квадрат сферичного радіус-вектора, характеризує координати точки контакту: $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$.

Розглянемо розв'язок задачі температурного поля місцевого нормально-еліпсоїдного джерела, що має потужність q та коефіцієнти зосередженості k_1, k_2, k_3 яке прикладене до напівнескінченного тіла з адіабатичною поверхнею XOY. Змістимо разом з центром миттєвого нормально-еліпсоїдного джерела початок координат XYZ. Розподіл тепла від такого джерела по об'єму у відповідності з рівнянням (3) описується нерівністю:

$$q_v dt = q_{(v)m} \exp\left(-\frac{x'^2}{4at_1} - \frac{y'^2}{4at_2} - \frac{z'^2}{4at_3}\right). \quad (7)$$

Рівняння процесу розповсюдження тепла можна розв'язати за методом теплових джерел. Для цього все напівнескінченне тіло розділяють на елементарні об'єми $dv = dx' dy' dz'$. У точці $B(x'y'z')$, в початковий момент часу $t=0$ до частини об'єму dv прикладається тепло в кількості $dQ = q_{(v)} dx' dy' dz' dt$, яке будемо розглядати як миттєве точкове джерело. Тоді процес розповсюдження тепла від точкового джерела в напівнескінченному тілі виразимо рівнянням:

$$d\theta(x, y, z, t) = \frac{2q(v) dx' dy' dz' dt}{c\gamma(4\pi at)^{3/2}} \exp\left(-\frac{R'^2}{4at}\right), \quad (8)$$

підставимо рівняння (7) в рівняння (8) враховуючи що:

$R' = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$, в результаті отримаємо:

$$d\theta(x, y, z, t) = \frac{2q(v)dx'dy'dz'dt}{c\gamma(4\pi at)^{3/2}} \int_0^{+\infty} dz' \int_{-\infty}^{+\infty} dx' \int_{-\infty}^{+\infty} dy' \times \\ \times \exp\left\{-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}{4at} - \frac{x'^2}{4at_1} - \frac{y'^2}{4at_2} - \frac{z'^2}{4at_3}\right\}. \quad (9)$$

Величина найбільшого теплового потоку визначається із співвідношення (4):

$$q_{v(m)} = \frac{q}{4(\pi^3 a^3 t_1 t_2 t_3)^{1/2}}. \text{ Після обрахунку інтегралів (9), підстановки значення } q_{v(m)},$$

необхідних спрощень отримаємо в кінцевому результаті рівняння процесу розповсюдження тепла від миттєвого нормально-еліпсоїдного джерела:

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{qdt}{4c\gamma} \cdot \frac{1}{(t_1+t)^{1/2}} \cdot \frac{1}{(t_2+t)^{1/2}} \cdot \frac{1}{(t_3+t)^{1/2}} \times \\ \times \exp\left\{-\frac{x^2}{4a(t_1+t)} - \frac{y^2}{4a(t_2+t)} - \frac{z^2}{4a(t_3+t)}\right\} - \left[1 - \Phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_3}{at(t_3+t)}}\right)\right], \quad (10)$$

де $\Phi(t)$ – функція Крампа.

Якщо джерело переміщується в поверхні напівнескінченного тіла, з постійною швидкістю, величини k_1, k_2, k_3, q залишаються сталими під час руху джерела.

Центр S в початковий момент $t=0$ співпадає з початком O_0 нерухомої системи координат $X_0Y_0Z_0$ і продовжує рухатись по осі O_0X_0 . Проміжок часу t впливу джерела розділимо на елементи dt' . Тепло, приведене миттєвим нормально-еліпсоїдним джерелом $dQ=qdt'$ з центром в точці S' прикладене в момент t' на відстані vt' від точки O_0 , розповсюджуючись по тілу протягом $t''=t-t'$, підніме до моменту t температуру точки $A(x_0, y_0, z_0)$ на величину:

$$\theta(x_0, y_0, z_0, t) = \frac{qdt'}{4c\gamma(\pi a)^{3/2}} \cdot \frac{1}{(t_1+t'')^{1/2}} \cdot \frac{1}{(t_2+t'')^{1/2}} \cdot \frac{1}{(t_3+t'')^{1/2}} \times \\ \times \exp\left\{-\frac{x^2}{4a(t_1+t)} - \frac{y^2}{4a(t_2+t)} - \frac{z^2}{4a(t_3+t)}\right\} \left[1 - \Phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_3}{at(t_3+t)}}\right)\right]. \quad (11)$$

Введемо рухому систему координат XYZ з початком в точці O , яка розміщена на осі O_0X_0 на відстані vt_1 від положення центра джерела. Виконаємо заміну змінних $x_0 = v(t+t_1) + x$; $y_0 = y$; $z_0 = z$ і для зручності запису використаємо змінну часу t'' . В такому випадку:

$$x_0 - vt' = x_0 - v(t-t'') = x + v(t_1+t''). \quad (12)$$

Враховуючи сказане і перетворивши показник експоненти, визначимо температуру від усіх елементарних джерел $dQ(t')$ за час від $t'=0$ до $t'=t$ на протязі всього шляху O_0S :

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{q}{4c\gamma(\pi a)^{3/2}} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt''}{\sqrt{(t_1+t'')(t_2+t'')(t_3+t'')}} \times \\ \times \exp\left\{-\frac{x^2}{4a(t_1+t'')} - \frac{y^2}{4a(t_2+t'')} - \frac{z^2}{4a(t_3+t'')} \right\} \left[1 - \Phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_3}{at''(t_3+t'')}}\right)\right]. \quad (13)$$

Рівняння (13) описує процес розповсюдження тепла при нагріванні рухомим нормально-еліпсоїдним джерелом. З цього рівняння можна отримати залежності, що описують розповсюдження тепла при нагріванні нормально-розподіленими джерелами, як по площині, так і по об'єму. Якщо в рівнянні (13) прийняти що, $t_3 = 0$, то ми отримаємо характеристику процесу розповсюдження тепла від нормально-еліптичного джерела, якщо ж $t_3 = 0$ і $t_1 = t_2 = t_0$ отримаємо характеристику процесу розповсюдження тепла від нормально-колового джерела.

В багатьох випадках, наприклад, при вигладжуванні площинних поверхонь, і з певним наближенням при вигладжуванні циліндричних поверхонь джерело тепла можна вважати нормально-сферичним. Для нього коефіцієнти зосередженості по всіх координатних осях рівні, тобто $k_1=k_2=k_3=k$. У відповідності з цим із рівняння (2) отримаємо $q_{(v)} = q_{(v)m} e^{-kR^2}$. Тому:

$$\frac{q_{(v)}}{q_{(v)m}} = e^{-kR^2}. \quad (14)$$

Оскільки потужність тепловиділення пропорційна ступеню деформації, яка характеризується приростом твердості, маємо право записати:

$$H_{(v)} = H_{(m)} e^{-kR^2}, \quad (15)$$

де $H_{(v)}$ – приріст твердості в даній точці, а $H_{(m)}$ – максимальний приріст твердості.

В недостатньо зміцнених зонах осередку деформації при співвідношенні $\frac{H_{(v)}}{H_{(m)}} < 0,2$ тепловиділенням можна знехтувати, тому осередок деформації варто обмежити такою відстанню, за якої дотримується співвідношення $\frac{H_{(v)}}{H_{(m)}} \leq 0,2$. В такому випадку

$\frac{q_{(v)}}{q_{(v)m}} = e^{-kR^2} = 0,2$, а $k = \frac{1,6}{R^2}$. Встановимо зв'язок між ефективною потужністю нормально-сферичного джерела q і розподілом інтенсивності тепловиділення. Приймаючи в рівнянні (4) $t_1 = t_2 = t_3 = t_0$ отримаємо:

$$q = 4q(v)m = \sqrt{(\pi a t_0)^3}, \quad (16)$$

$$q = 4q(v)m \left(\frac{\pi a}{4ak} \right)^{3/2} = \frac{q(v)m}{2} \left(\frac{\pi}{k} \right)^{3/2}. \quad (17)$$

Із рівняння (17) можна визначити величину $q(v)m$. Розподіл теплоти від нормально-сферичного джерела отримаємо, припускаючи, що в рівнянні (13) $t_1 = t_2 = t_3 = t_0$, тоді:

$$\begin{aligned} \theta(x, y, z, t) = & \frac{q}{4c\gamma(\pi a)^3} \exp\left(\frac{vx}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt''}{(t_0 + t'')^{3/2}} \exp\left\{-\frac{R^2}{4a(t_0 + t'')} - \frac{v^2(t_0 + t'')}{4a}\right\} \times \\ & \times \left[1 - \Phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_0}{at''(t_0 + t'')}}\right) \right], \end{aligned} \quad (18)$$

де

$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2. \quad (19)$$

Інтеграл (18) складно виразити через відомі функції, проте нього можна представити у спрощеному вигляді за теоремою про середню форму, так як виконуються всі умови застосування цієї теореми для даного інтегралу. Після обрахунку інтеграла (18) та необхідних перетворень, в кінцевому результаті отримаємо:

$$\begin{aligned} \theta(x, y, z, t) \cong & \frac{q}{4\pi a \gamma R} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \left[1 + \Phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_0}{at(t_0 + t)}}\right) \right] \times \\ & \times \left\{ \exp\left(\frac{vR}{2a}\right) \left[\Phi\left(\frac{R + vt_0}{2\sqrt{at_0}}\right) - \Phi\left(\frac{R + vt_0 + vt}{2\sqrt{a(t_0 + t)}}\right) \right] \right\} + \\ & + \exp\left(-\frac{vR}{2a}\right) \left[\Phi\left(\frac{R - vt_0}{2\sqrt{at_0}}\right) - \Phi\left(\frac{R - vt_0 - vt}{2\sqrt{a(t_0 + t)}}\right) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Відповідно до прийнятих припущень під час обрахунку інтеграла (18) формула (20) буде давати точний результат тільки при невеликих значеннях t , тобто саме для практичних випадків, коли температура максимальна. Ця формула дозволяє визначити температуру в будь-якій точці тіла.

Градiєнт температур в напрямку осі ОХ незначний, в порівнянні з градієнтами в напрямку ОУ та ОZ. Таким чином, джерело стає нормально-коловим (рис. 1).

Спираючись на розроблену методику розбіємо тіло на ряд плоских шарів нескінченно малої товщини dx . Припустимо, що граничні площини кожного шару перпендикулярні до осі переміщення джерела ОХ і не проводять тепла. Тому тепло внесене швидкохідним джерелом на відрізок dx розповсюджується тільки в одному шарі, обмеженому площинами ABCD та A'B'C'D'. Відповідно тепло розповсюджується самостійно в кожному плоскому шарі, а загальний просторовий процес розповсюдження тепла розділяється на ряд плоских процесів.

Так як кожен плоский шар нагрівається джерелом на протязі нескінченно малого проміжку часу $dt = \frac{dx}{v}$, тому джерело будемо вважати миттєвим.

Загальна потужність нормально-колового джерела виражається інтегралом від поточної потужності тепловиділення по всій площі, яку займає джерело. В нашому випадку можна записати:

$$q = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} q_{(r)} dydz. \quad (21)$$

Поточна потужність тепловиділення нормально-колового джерела виразимо рівнянням:

$$q_{(r)} = q_{(r,z)} = q_{(y,z)m} e^{-k(y^2+z^2)}.$$

Підставляючи цей вираз у рівняння (21), отримаємо наступне:

$$q = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} q_{(y,z)m} e^{-k(y^2+z^2)} dydz. \quad (22)$$

Виразивши k через t_0 і обчисливши інтеграли (22) отримаємо вираз, $q = 2\pi a t_0 q_{(y,z)m}$, де $q_{(y,z)m}$ – максимальна потужність тепловиділення нормально-колового джерела.

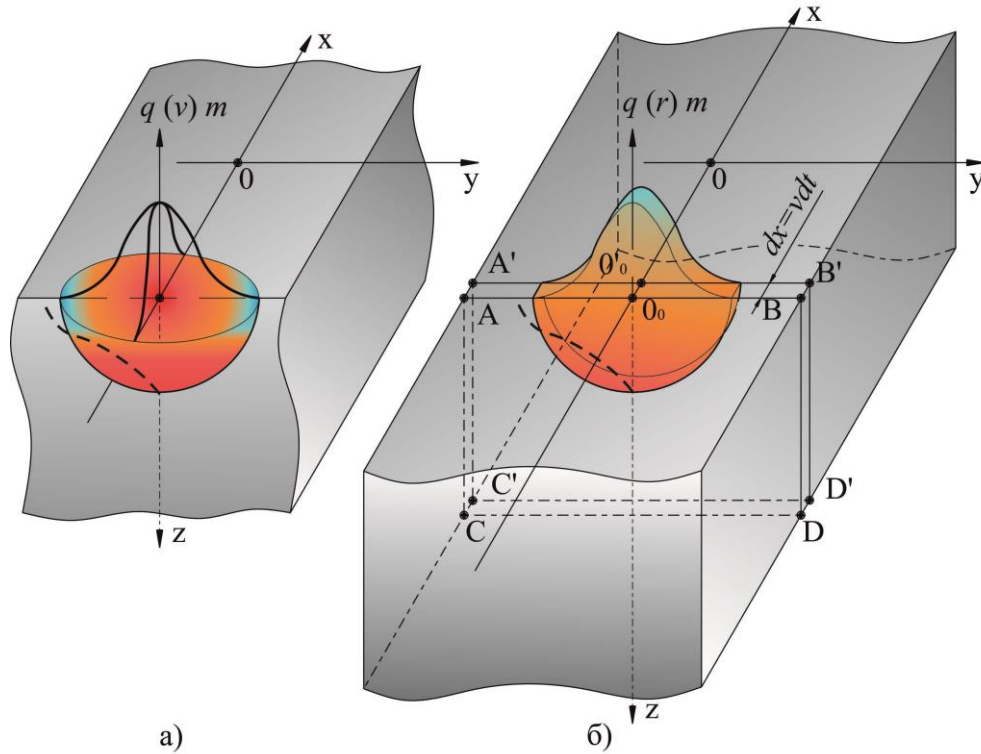


Рис. 1. Схема нагрівання тіла швидкохідним нормально-сферичним джерелом а), та еквівалентна їй схема нагріву нормально-коловим джерелом б)

Процес розповсюдження тепла від миттєвого нормально-колового джерела в елементарній пластині (рис. 1б) має вигляд:

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{\theta}{c\gamma\delta 4\pi a(t+t_0)} e^{-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0+t)}}, \quad (23)$$

де за час dt кількість підведеного тепла $Q = 4\pi a t_0 q_{(y,z)m} dt$, а δ товщина пластини. В нашому випадку $\delta = dx = vdt$; тобто, $q_{(y,z)m} = \frac{q}{2\pi a t_0}$ і $Q = 2qdt$.

Підставимо ці вирази в рівняння (23), отримаємо:

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{q}{2\pi\lambda v(t_0+t)} e^{-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0+t)}}. \quad (24)$$

де $y=y_0$ та $z=z_0$ – координати точки F, яка лежить в площині $Y_0X_0O_0$, а t – проміжок часу, який відраховується з моменту коли джерело перетнуло дану площину.

Рівняння (24) описує процес розповсюдження тепла від нормально-колового джерела, що рухається у поверхні напівнескінченного тіла. Така форма буде еквівалентною швидкохідному нормально-сферичному джерелу. Рівняння справедливе для будь якого плоского шару виділеного в тілі. Проте для кожного шару потрібно вести окремий відлік часу.

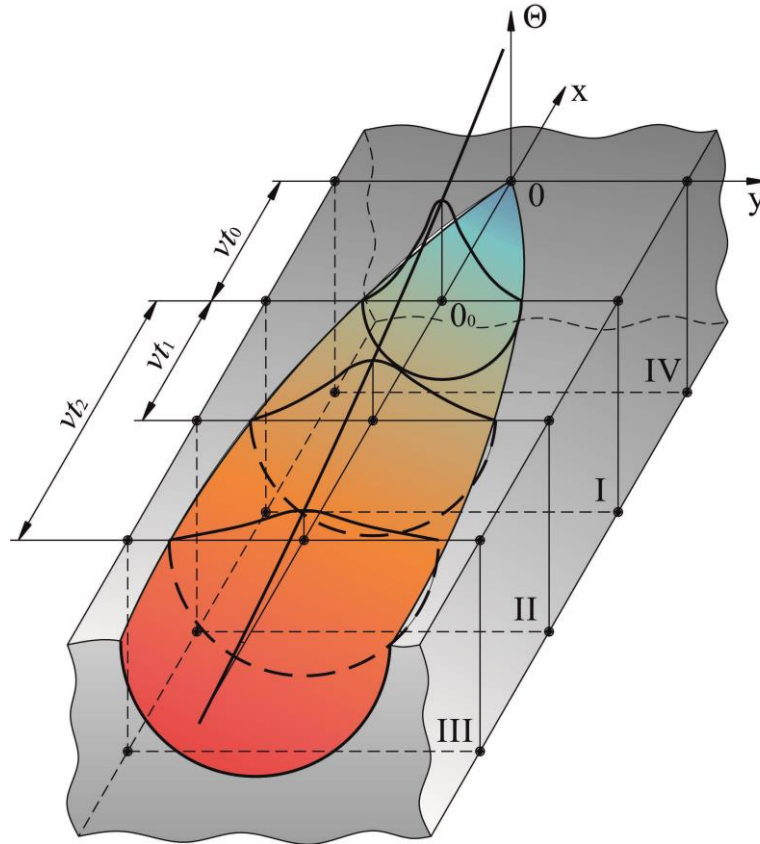


Рис. 2. Схема розповсюдження тепла від нормально-колового джерела в початковий період оброблення

Відповідно до раніше прийнятих умов, введемо постійну часу (в даному випадку t_0), тобто проведемо заміну реального джерела, фіктивним точковим джерелом такої самої потужності, з такою самою швидкістю руху на відстані vt_0 попереду центра O_0 реального джерела. В такому випадку фіктивне точкове джерело, яке знаходиться в даний момент часу в точці O (рис. 2) забезпечує заданий розподіл тепла в площинах I, II, III.

Слід пам'ятати, що рівняння (24) справедливе тільки для тих ділянок тіла, які розміщені безпосередньо близько до осі переміщення джерела. По мірі віддалення від осі, точність знижується, тому що в таких випадках тепло розповсюджується перпендикулярно до шляху джерела тільки поблизу від нього. При вигладжуванні найбільша температура досягається в точках, дотичних до осі переміщення джерела. Тому рівняння (24) для більшості практичних випадків дає досить високу точність.

Для того щоб визначити температуру на осі OX позаду джерела на відстанях vt_1 , vt_2 і т.д. рівняння (24) потрібно спростити. Причому $y=z=0$, тоді:

$$\theta(O, O, t) = \frac{q}{2\pi\lambda\nu(t_0 + t)}. \quad (25)$$

Максимальна температура в будь-якій точці тіла під час процесу розповсюдження тепла досягається в момент часу t_m . Останній можна визначити, якщо прирівняти до нуля швидкість зміни температури в даній точці, тобто $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$. Для цього візьмемо алгоритм рівняння (24) та виконаємо по члену диференціювання. В результаті отримаємо:

$$\frac{\partial \theta(t)}{\partial t} = \frac{\theta}{(t_0 + t_m)} \left[\frac{r^2}{4a(t_0 + t_m)} - 1 \right] = 0. \quad (26)$$

звідки $t_m = \frac{r^2}{4a} - t_0$. Підставимо значення t_m у формулу (24). Після перетворень отримаємо:

$$\theta_{m(y,z)} = \frac{0,763q}{\pi v c \gamma r^2}. \quad (27)$$

де $r^2 = z^2 + y^2$.

Необхідно зважати, що час t_m відповідає реальній частині процесу тільки при наступній умові: $\frac{r^2}{4a} > t_0$. Якщо $\frac{r^2}{4a} < t_0$, то t_m буде відноситись вже до фіктивної частини процесу. В таких випадках максимальна температура визначається при $t=0$.

Операція вигладжування найчастіше проводиться інструментом, робоча частина якого має форму сфери радіусом $R_{\text{ІП}}=0,5\dots 4$ мм. Використовуються також індентори, деформуюча частина яких виконана у вигляді циліндра, тора або конуса [1].

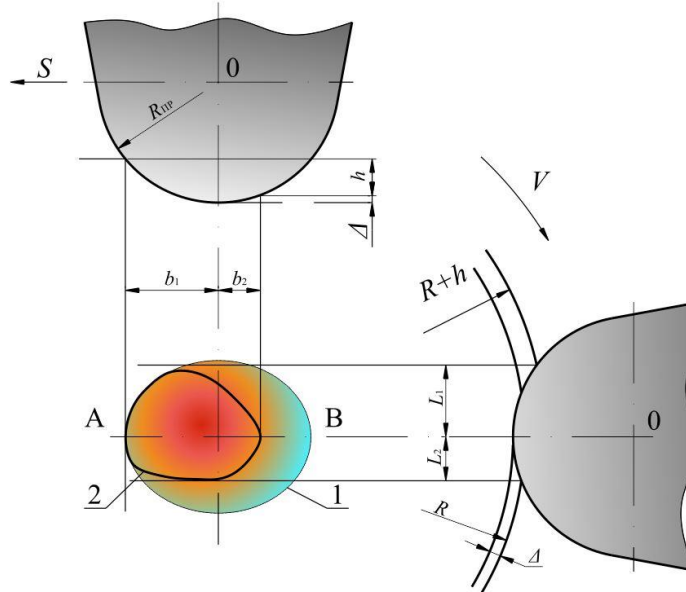


Рис. 3. Форма поверхні контакту в процесі вигладжувального оброблення циліндричної деталі індентором із сферичною робочою частиною

Ефективність процесу алмазного вигладжування залежить від швидкості обертання шпинделя V , прикладеного зусилля P_y та подачі інструменту S . Дослідження [5, 6] показали, що швидкість V має незначний вплив на якість оброблюваної поверхні, проте вона визначає характер зношування та стійкість алмазних інденторів. Для раціональної організації технологічного процесу, який забезпечує найвищу продуктивність та створює оптимальні умови для роботи кристалу алмаза, необхідно визначити температури, що виникають на дотичних поверхнях останнього.

Для теплофізичного аналізу розглянемо аспекти, що дозволять підійти до схематизації форми тіл, які беруть участь в теплообміні під час ППД, а також схематизації форми та знаків розподілу теплоти. Розглянемо схему для визначення площі та конфігурації поверхні контакту між робочою частиною інструменту, що має сферичну форму та циліндричною поверхнею заготовки (рис. 3). Під час статичного втискання проекція контактної площини між індентором та циліндричною поверхнею деталі має форму еліпса 1 (рис. 3). Проте якщо враховувати рух індентора та те, що в процесі вигладжування оброблюваний матеріал отримує залишкову деформацію h та пружне відновлення Δ , то форма поверхні контакту набуде вигляду 2 (рис. 3). Для розрахунку розмірів площі контакту такого виду справедливі наступні формули [2]:

$$l_1 \approx \sqrt{\frac{2RR_{\text{ІП}}}{R+R_{\text{ІП}}}}(h+\Delta); \quad l_2 \approx \sqrt{\frac{2RR_{\text{ІП}}}{R+R_{\text{ІП}}}}\Delta; \quad (28)$$

$$b_1 \approx \sqrt{2R_{\text{ІП}}(h+\Delta)}; \quad b_2 \approx \sqrt{2R_{\text{ІП}}\Delta}; \quad (29)$$

Значення h та Δ залежать від властивостей матеріалу й режиму оброблення, вони визначаються розрахунково-експериментальним методом [1]. Для визначення h в першому наближенні використовують дані про кути контакту ε_1 між передньою поверхнею індентора та

деталі, ці параметри наведено в табл. 1 [4]. Приймаючи значення ε_1 відповідно до режимів оброблення та матеріалу, а також допускаючи, що $\varepsilon_2 \approx 0,5\varepsilon_1$, розміри контактних площ можна розрахувати за формулами:

$$l_1 \approx 0,017R_{\text{ПР}}\varepsilon_1; \quad l_2 \approx 0,009R_{\text{ПР}}\varepsilon_1; \quad (30)$$

$$b_1 = l_1 \sqrt{\frac{R + R_{\text{ПР}}}{R}}; \quad b_2 = l_2 \sqrt{\frac{R + R_{\text{ПР}}}{R}}. \quad (31)$$

Ці формули доцільно застосувати і для розрахунку розмірів зони контакту під час обкатування кулькою, оскільки кути ε_1 тут мають такі ж самі значення, як і під час вигладжування інденторами різної форми [2].

Таблиця 1

Кути контакту під час алмазного вигладжування

Режим оброблення:	Кут ε_1 , град	
	для загартованої сталі	для м'яких матеріалів
вигладжувальний	6...7	2...3
зміцнювально-вигладжувальний	8...9	4...5
зміцнювальний	11...12	6...7

Як видно з рис. 3 контактна поверхня має форму, яку з достатньою точністю можна замінити прямокутником $(l_1 + l_2) \cdot (b_1 + b_2)$ (рис. 6). Більш складна ситуація зі схематизацією законів розподілу інтенсивності теплоутворюючих потоків. Напружений стан, що виникає в зоні вигладжування, зумовлює складний закон розподілу інтенсивності теплоутворення по поверхні зони контакту між індентором та заготовкою. Проте, якщо взяти до уваги припущення що:

- в частині зони контакту, розміщеній над лінією АВ (рис. 3) переважно відбувається пластичне деформування, а в частині розміщеній під цією лінією, пружне відновлення;
- закони розподілу інтенсивності подібних за формою джерел порівняно мало впливають на температуру в зоні контакту. Таким чином теплоутворення розподілятиметься за наступною схемою (рис. 4).

На площині $l_1(b_1 + b_2)$ джерело розподілене згідно закону $q_{1T} = q_{01} \exp[-3\psi_1^2]$ в напрямку вектора швидкості вигладжування V , та рівномірно – в напрямку вектора подачі S (рис. 6). Аналогічно, на площі $l_2(b_1 + b_2)$ інтенсивність розподілена за законом $q_{2T} = q_{02} \exp[-3\psi_2^2]$ в напрямку оберненому вектору V , та рівномірно – в напрямку вектора S . Відведення теплоти в заготовку зображено у вигляді рівномірно розподілених потоків теплоти q_1, q_2 .

У випадку схематизації, для розрахунку середніх температур на площах контакту зі сторони заготовки можна застосувати формули (32), (33), в які потрібно вводити поправочний коефіцієнт ξ , який буде враховувати обмеженість джерел по ширині $b_1 + b_2$.

$$\theta_1 \approx 0,066 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{V}} (q_{01} - 2,78q_1). \quad (32)$$

$$\theta_2 = 0,1 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{V}} \left[q_{02} \sqrt{\beta + 1,38\xi_1 q_{01}} - 1,84q_2 \sqrt{\beta} - 2,76\xi_2 q_1 \right]. \quad (33)$$

Значення поправочних коефіцієнтів ξ_1, ξ_2 , враховуючи форму джерел, залежать від безрозмірних величин:

$$u_1 = \frac{b_1 + b_2}{l_1} \sqrt{Pe_1}; \quad u_2 = \frac{b_1 + b_2}{l_2} \sqrt{Pe_2}, \quad (34)$$

де $Pe_1 = \frac{\nu l_1}{6\omega}; Pe_2 = \frac{\nu l_2}{6\omega}$.

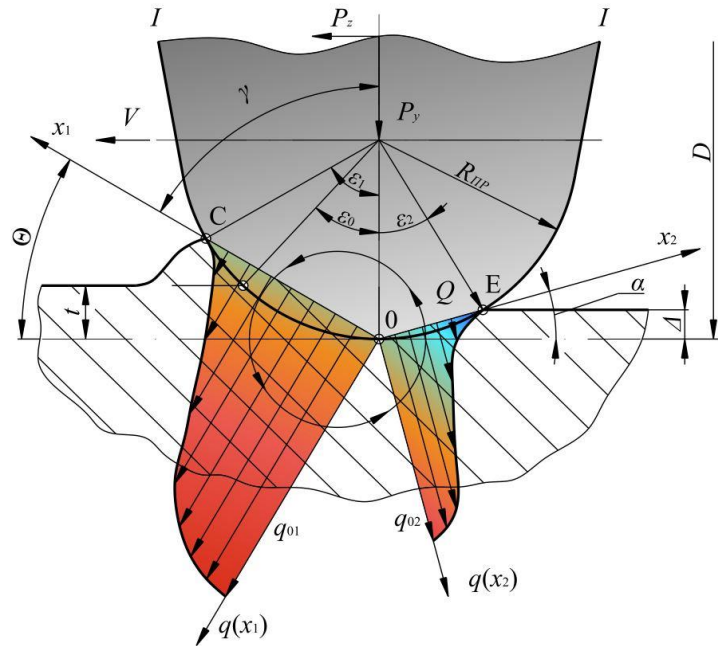


Рис. 4. Розподіл теплового напруження під час поверхневого пластичного деформування (відведення теплоти в заготовку)

де $\beta = l_2 : l_1$.

Графіки функцій ξ_1, ξ_2 наведені на рис. 5.

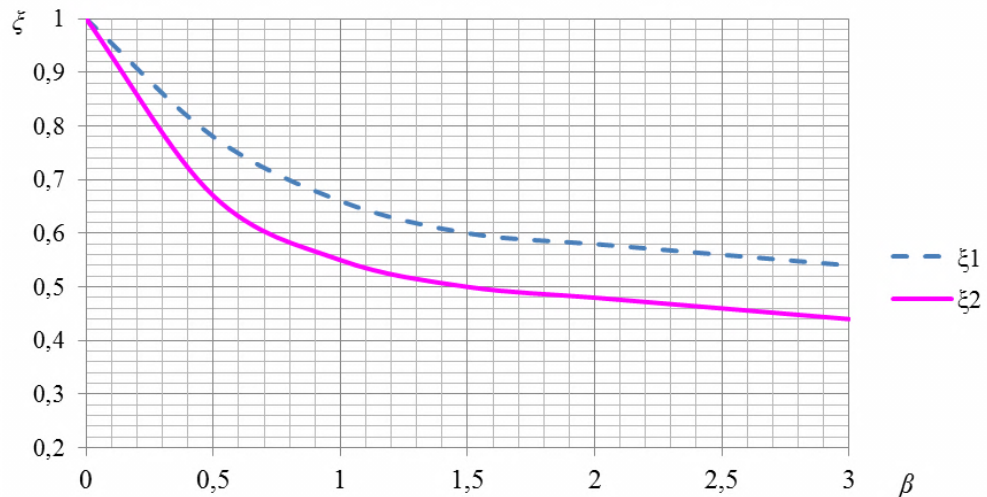


Рис. 5. Графік для визначення поправочного коефіцієнта ξ

З проведених розрахунків видно, що в області використовуваних режимів ППД та радіусів індентора для обробки сталей з жаростійких матеріалів $u_1 > 10, u_2 > 10$. Використавши поправочний коефіцієнт для всіх джерел $\xi \approx 0,87$, буде справедливим наступне рівняння:

$$\theta_1 \approx 0,057 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{v}} (q_{01} - 2,78 q_1). \quad (35)$$

$$\theta_2 = 0,87 \frac{\sqrt{\omega l_1}}{\lambda \sqrt{v}} [q_{02} \sqrt{\beta + 0,86 \xi_1 q_{01}} - 1,84 q_2 \sqrt{\beta} - 2,76 \xi_2 q_1]. \quad (36)$$

причому значення $\beta = l_2 : l_1; \xi_1; \xi_2$, а інтенсивності теплових потоків визначаються за формулами:

$$q_{01} = 7,62 \frac{P_z v}{l_1 (b_1 + b_2)} - 1,92 \sigma_{-B} \mu_2 v \frac{l_2}{l_1} \text{ кал/}(\text{см}^2 \cdot \text{с}); \quad (37)$$

$$q_{02} = 1,92\sigma_{-B}\mu_2\nu \text{ кал/}(\text{см}^2\cdot\text{с}). \quad (38)$$

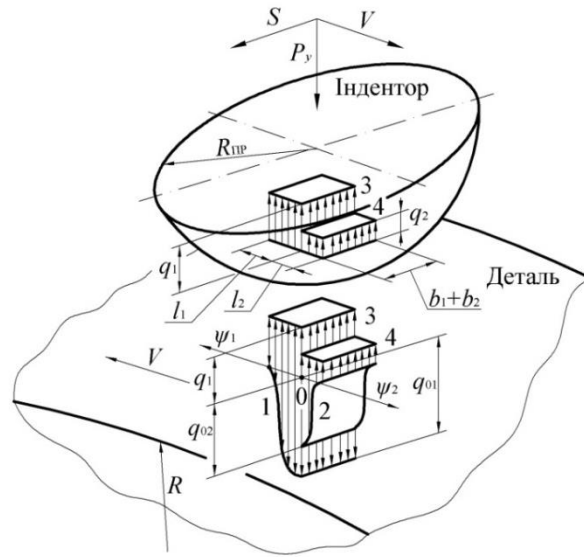


Рис. 6. Схема теплового балансу процесу алмазного вигладжування

Величина тангенціальної сили P_z , яка виникає під час вигладжування, може бути визначена розрахунковим або експериментальним шляхом [1]. Вона залежить від радіальної сили P_y , з якою індентор притискається до заготовки, у загальному вигляді $P_z = kP_y + c$. Наприклад, під час вигладжування загартованої сталі ШХ15 (HRC 60...62) індентором із сферичною робочою поверхнею: $P_z = 0,085$; $P_y = 0,425$ [1].

В свою чергу оптимальне значення P_y залежить від твердості оброблюваної поверхні (за Вікерсом HV), діаметра деталі D та радіуса робочої частини індентора $R_{ИПР}$. Для розрахунку оптимальних значень P_y під час обробки загартованих та цементованих сталей рекомендується використовувати наступну формулу:

$$P_y = 0,013HV \left(\frac{DR_{ИПР}}{D + R_{ИПР}} \right)^2, \quad (39)$$

яка для використовуваних на практиці значень D та $R_{ИПР}$ коли $D \gg R_{ИПР}$, спрощується до виразу:

$$P_y = 0,013HVR_{ИПР}^2 \text{ кгс.}$$

Зважаючи на високу теплопровідність алмазу та достатньо велику тривалість процесу вигладжування теплообмін між заготовкою та індентором встановлюється швидко. Тому для розрахунку температури в зоні контакту зі сторони індентора будуть справедливі наступні залежності:

$$\theta_1 = \frac{q_1 l_1}{\lambda_i} J_1 + \frac{q_2 l_2}{\lambda_i} N_2; \quad (40)$$

$$\theta_2 = \frac{q_2 l_2}{\lambda_i} J_2 + \frac{q_1 l_1}{\lambda_i} N_1. \quad (41)$$

В рівняннях (40), (41) коефіцієнти J_1, J_2 описують вплив форми джерел $l_1(b_1 + b_2)$ $l_2(b_1 + b_2)$ на середню температуру контактних зон. Коефіцієнти N_1, N_2 визначають вплив джерел q_1, q_2 на відповідну температуру зон контакту l_1, l_2 .

Формули для розрахунку значень J_1, J_2 та N_1, N_2 виглядають наступним чином:

$$J_{1,2} = 0,061 + 0,033\eta_{1,2}^{0,5} \lg \eta_{1,2}; \quad (42)$$

$$N_{1,2} = 0,0573\eta_{1,2}\rho_{1,2}^{-1/\eta_{1,2}^{0,68}}, \quad (43)$$

$$\text{де } \eta_{1,2} = \frac{b_1 + b_2}{2l_{1,2}}; \rho_1 = 1 + \frac{l_2}{l_1}; \rho_2 = 1 + \frac{l_1}{l_2}.$$

Попарне прирівнювання виразів (35) та (40), (36) та (41) дозволяє розрахувати інтенсивність результуючих теплових потоків q_1, q_2 й визначити температури на поверхнях контакту індентора з заготовкою.

Опишемо теплоту, що виділяється на кожному з попередніх обертів деталі у вигляді одномірного джерела, яке рухається зі швидкістю $V_1 = \frac{Sn}{600}$, де n – частота обертання деталі.

Така схематизація допустима, оскільки швидкість вигладжування V в багато разів перевищує швидкість подачі V_1 , а тепловиділення в зоні контакту сконцентровано у вузькій смузі шириною $b_1 + b_2$ (рис. 6). Змістимо початок рухомої системи координат із джерелом. Вісь абсцис буде направлено вздовж осі деталі в сторону, протилежну напрямку вектора V_1 . Тоді для розрахунку додаткового зростання температури θ' використовуємо наступну формулу, прийнявши $x_i = y_i = 0; y = 0; x = -S$:

$$\theta' = \frac{q'}{\pi\lambda} \exp\left[-\frac{V_1 S}{20\omega}\right] K_0\left[\frac{V_1 S}{20\omega}\right]. \quad (44)$$

Для використовуваних на практиці режимів вигладжування різних матеріалів аргумент функції Бесселя $K_0[u]$ має досить мале значення, що дозволяє використовувати наближену формулу $K_0[u] \approx 1,4u^{-0,27}$. У зв'язку з цим температуру θ' представлено у вигляді:

$$\theta' = 1,2q' \left(\frac{\omega D}{S^2 V} \right)^{0,27}, \quad (45)$$

тут діаметр заготовки D підставляється в мм, S – в мм/об, швидкість вигладжування V – в м/хв. Іntenсивність q' розраховується за формулою отриманою на основі аналізу балансу тепла в ході ППД:

$$q' = \frac{10}{\pi D} \left[0,039 P_z V - \frac{b_1 + b_2}{100} (q_1 l_1 + q_2 l_2) \right] \text{ кал/(см}\cdot\text{с)}. \quad (46)$$

Аналіз конкретних прикладів для умов та режимів вигладжування, показав, що обидва результуючих потоки теплообміну в контактній зоні між інструментом та заготовкою q_1, q_2 направлені в інструмент.

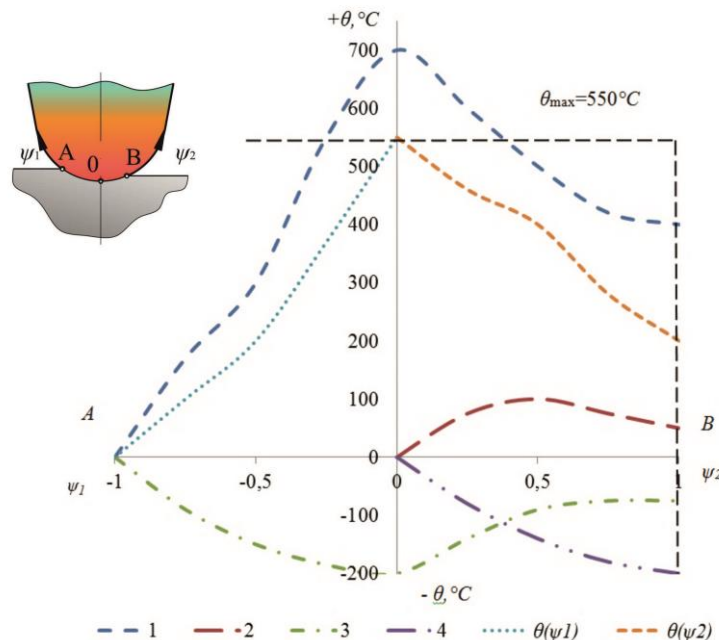


Рис. 7. Розподіл температур на дузі контакту алмазного індентора з деталлю зі сталі ШХ15, (умови оброблення: $P_y=300$ Н; $R_{HP}=1$ мм; $V=200$ м/хв; $S=0,005$ мм/об)

Розглянемо схему розподілу температур на дузі АОВ (рис. 7), яка лежить в діаметральній площині індентора. Криві $\theta(\psi_1), \theta(\psi_2)$, що характеризують розподіл температур на фронтальній та внутрішній поверхнях індентора, являються сумою ординат кривих 1-4, кожна з яких відображає вплив того чи іншого джерела або потоку теплоти.

Джерела та потоки пронумеровані так само, як і на рис. 6. Ріст температури відкладено на осі θ в напрямку $(+\theta)$ (рис. 7), падіння – в напрямку $(-\theta)$.

Як видно з рис 7, температура на внутрішній поверхні індентора в середньому вища ніж на фронтальній (відповідно $\theta_2 = 330^\circ\text{C}$ та $\theta_1 = 210^\circ\text{C}$). Отже, з точки зору термодинамічного навантаження внутрішня поверхня індентора є більш навантаженою, й при екстремальних режимах оброблення можна очікувати, що зона ОВ буде мати меншу стійкість до зношування. Саме на цій ділянці будуть виникати припіки або інші дефекти поверхні деталі, пов'язані з тепловиділенням під час вигладжування.

Таким чином, дослідженнями встановлено, що температури в контактній зоні можуть досягати досить високих значень $500...700^\circ\text{C}$ (рис. 7). Слід також відмітити, що розрахункове значення $\theta_{\max}=550^\circ\text{C}$ відповідає значенням які отримано експериментальним шляхом, що підтверджує адекватність наведеної моделі.

Інформаційні джерела

1. A. Tkachuk Thermophysical analysis process diamond smoothing / Viktor Marchuk, Anatoliu Tkachuk, Stanislav Prustupa // Computer Aided Production Engineering – Lublin: Politechnika Lubelska, 2013. - P. 67-74.
2. A. Tkachuk, V. Zablotskiy, T. Terletskyi, O. Kaidyk, S. Moroz Increased wear resistance of surfaces of rotation bearings methods strengthening-smoothing processing. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 5, July 2016, Pages 77-85, DOI: 10.13140/RG.2.1.1757.9125.
3. V. Zablotskiy, O. Dahnyuk, S. Prystupa, A. Tkachuk Formation of physical and mechanical properties of surface layer of machine parts. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 8, March 2017, Pages 87-98, DOI: 10.2412/mmse.99.57.43.
4. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин / Балтер М.А. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
5. Кравченко Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. – Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1962. – 180 с.
6. Полевой С.Н. Упрочнение металлов / Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. – М. Машиностроение. 1986. - 312 с.
7. Приступа С.О., Заблоцкий В.Ю. Енергетична взаємодія інструменту та заготовки в процесі суперфінішної обробки // Технологічні комплекси: науковий журнал №2(4). – Луцьк: Вид-во Луцького НТУ, 2011. – С. 139–142.
8. Приступа С.О., Заблоцкий В.Ю., Дахнюк О.П. Природа латентної енергії деформації та її вплив на експлуатаційні властивості деталей підшипників // Вісник Хмельницького національного університету: науковий журнал. №5. 2013. – Хмельницький: Вид-во Хмельницького ТУ, 2013. – С. 32–35.
9. Ткачук А.А. Технологічні основи зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхонь обертання. Монографія – Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна друкарня «Волиньполіграф»^{ТМ}, 2014. - 196с.

Ткачук А.А., к.т.н.

Луцкий национальный технический университет

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИМ ИНДЕНТОРОМ

Проведено исследование тепловых процессов при алмазного выглаживания, на основе расчетов разработана схема распределения теплоты, которая выделяется в ходе обработки. Выявлено, что в очаге деформации мощность тепловыделения, которая определяется величиной деформации, распределяется по объему заготовки неравномерно, следовательно по кривым твердости можно предположить, что интенсивность источника по трем пространственным координатам распределяется по нормальному закону Гаусса, а источник нормально-эллипсоидный. Определены результирующие тепловые потоки и их величина. Подтверждено, что внутренняя поверхность индентора более нагруженная, поэтому при экстремальных режимах обработки можно ожидать, что эта зона будет иметь меньшую стойкость к износу поэтому в этой зоне будут возникать прижоги или другие дефекты поверхности детали, связанные с тепловыделением при выглаживания.

Ключевые слова: температура, модель, тепловой источник, поверхностная пластическая деформация, уравнение теплового баланса

A. Tkachuk

Lutsk National Technical University

**THERMAL MODEL OF THE PROCESS OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION
BY A SPHERICAL INDENTOR**

A study of thermal processes during diamond smoothing has been carried out, based on calculations, a heat distribution scheme has been developed that is released during processing. It is revealed that in the deformation area the heat release power, which is determined by the strain value, is distributed unevenly throughout the billet volume, hence, according to the hardness curves, it can be assumed that the source intensity in three spatial coordinates is distributed according to the normal Gaussian law and the source is normally ellipsoidal. The resulting heat fluxes and their magnitude are determined. It has been confirmed that the inner surface of the indenter is more loaded, therefore, under extreme processing conditions, it can be expected that this zone will have less resistance to wear, so that there will be burns or other defects in the surface of the part associated with heat generation during smoothing.

Key words: *temperature, model, heat source, surface plastic deformation, heat balance equation*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ІЗ СТАЛІ 45 ПРИ ВІДНОВЛЕНІ І БАГАТОКРАТНІЙ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ

В наданий роботі проведений аналіз трансформації мікроструктури поверхневого шару зношених і відновлених деталей автомобілів із сталі 40, приведений аналіз і дослідження фізико-механічних властивостей робочих шарів. Розглянуті питання використання існуючих технологічних методів відновлення і обробки. За результати проведених досліджень отримані фотографії з мікроструктурами робочих поверхонь до і після відновлення, побудовані графічні залежності мікротвердості поверхневого шару деталі.

Ключеві слова: відновлення, знос, технологічні способи обробки, робочі поверхні, деталі автомобілів, шорсткість, мікроструктура.

Постановка проблеми. При аналізі сучасного стану автомобілебудування і авторемонтного виробництва, виявлено, що технологічні основи авторемонтного виробництва розроблені недостатньо і не відповідають вимогам сучасного автомобілебудування. Розробка системи відновлення зношених робочих поверхонь деталей автомобілів та їх з'єднань дозволить розробити оптимальний комплекс заходів для підвищення довговічності та надійності, експлуатаційного ресурсу деталей та вузлів. Високо швидкісні, знакозмінні і температурні навантаження сприяють зношенню поверхневого шару робочих поверхонь деталей. До основних вимог, що пред'являються до важко навантажених деталей є експлуатаційна надійність, довговічність, зносостійкість, корозійна і термостійкість поверхневого шару робочих поверхонь деталей. Якість поверхневого шару деталей обумовлена покриттям робочої поверхні, матеріалом, що використовується для виготовлення деталі, і конструктивними особливостями виробу.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Аналіз основних досліджень і публікацій [1-3] показує, що комплексне вирішення проблем відновлення поверхневого шару деталей автомобілів недостатньо досліджене і потребує суттєвого напрацювання.

Метою роботи є дослідження процесів зносу і розробка технологічних способів відновлення робочих, поверхневих шарів деталей автомобілів.

Матеріали дослідження

Для оцінки зносу поверхневого шару деталі необхідно урахувати наступні фактори: геометричні параметри розмірів, шорсткість поверхні деталі, мікроструктуру і твердість зношених поверхневих шарів.

Для дослідження і відновлення були вибрані зношені розподільні вали автомобілів із сталі 45.

Суттєвому зносу до 90% звичайно відносять кулачки (знос від 1-1.5 мм) і опорні шийки (0,3 – 0,6 мм), що істотно порушує нормальну роботу газорозподільного механізму - сприяє дисбалансу роботи клапанного механізму, викликає руйнування напрямних, клапанів і сідел, і як наслідок порушує герметичність клапанного вузла, що призводить до негативних наслідків роботи двигуна (втрата потужності, неповному згоранню паливної суміші, задимленню і т.п.).

Технологічний процес відновлення складається з наступних етапів:

- підготовка зношеної поверхні до наплавлення;
- зняття зруйнованого шару методом пошарового шліфування для можливості нанесення стійкого наплавочного шару;
- наплавлення робочого шару на підготовлену поверхню;
- шліфування до відповідних розмірів, що встановлені технічною документацією;
- комплексна обробка відповідних відновлених поверхневих шарів для утворення зносостійкої структури.

На кожному етапі технологічного процесу відновлення робочих поверхонь проводили спостереження зміння фізико-механічних характеристик і дослідження мікроструктур відповідних зон за допомогою електронного растрового мікроскопу PEM-106I з системою енергодисперсійного мікроаналізу

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Вихідний матеріал зношеної поверхні кулачків з сталі 45 (рис.1 а,б,в,г,д,е) має достатню мікротвердість ($H_{\mu 50}=6000-6500\text{МПа}$) ферито-перлитну структуру (рис.1а, б.), структур гартування з включеннями мартенситу відпуску (рис.1 е, д).

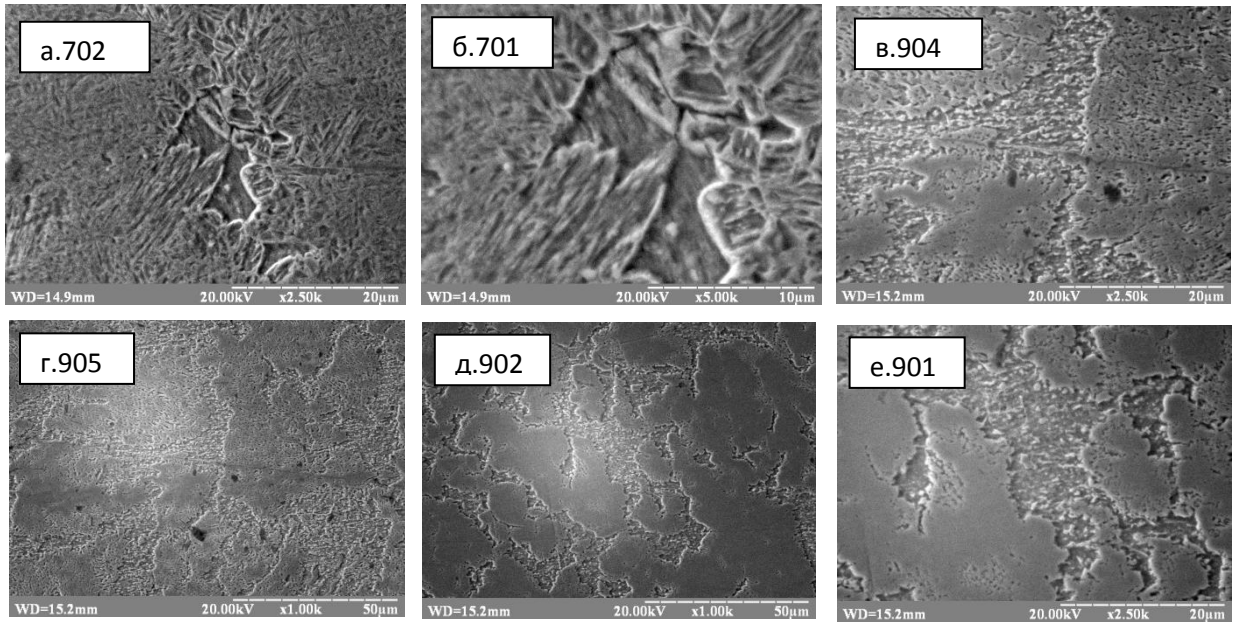


Рис. 1. Вихідний матеріал зношеної поверхні кулачків з сталі 45

На рис. 1 в, г спостерігаємо наявність основного матеріалу Ф+П з перехідними зонами, що є результатом попередньої термічної обробки на стадії виготовлення і термічної обробки.

За наданою схемою відновлювання, вихідну поверхню для нанесення відновлювального шару необхідно підготувати – провести нормалізацію поверхні деталі (рис.2 а, б, в, г) для зняття залишкових напружень і зняти певний шар зношеної робочої поверхні сталі 45 для електродугового наплавлення електродами ОЗШ-3, хімічний склад яких приведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад наплавленого шару сталі 45 електродами ОЗШ-3

Хімічні елементи	C	Mn	Si	Cr	S	P
%	0,4	0,5	1,9	9,9	0,013	0,021

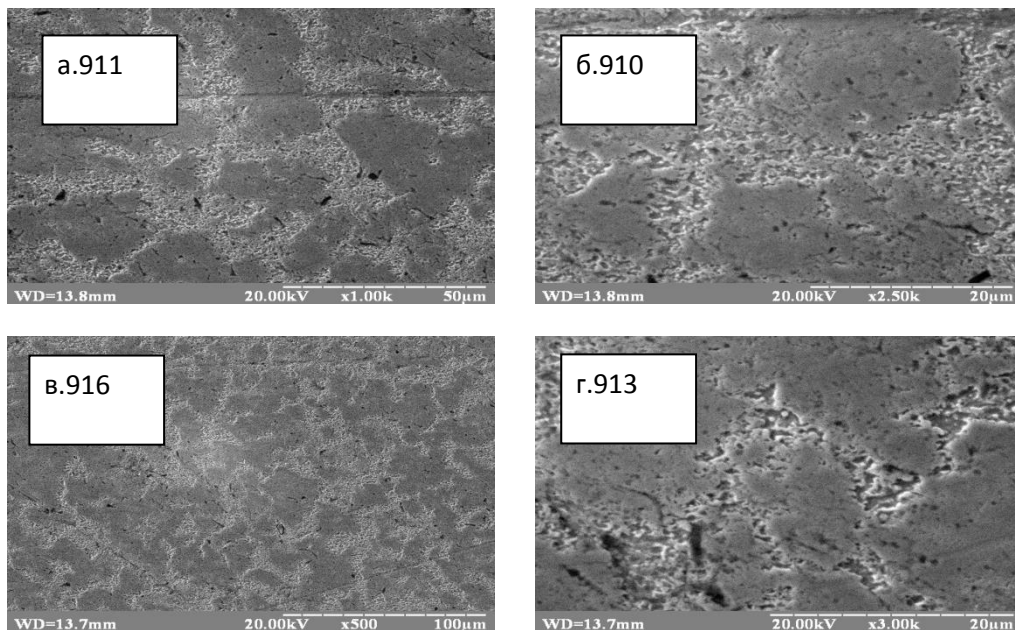


Рис. 2. Мікроструктура зношеної поверхні із сталі 45 після нормалізації

Наплавлення зношеної поверхні здійснюють при температурі 650°C . Мікроструктура наплавленого шару має феритну структуру з рівно дисперсійними карбідними включеннями

(рис.3 а, б, в). В мікроструктурі спостерігаються не тільки глобулярні, але і пластинчасті карбіди з розмірами часток від 0,2-1 мкм (рис.3 г, д, е).

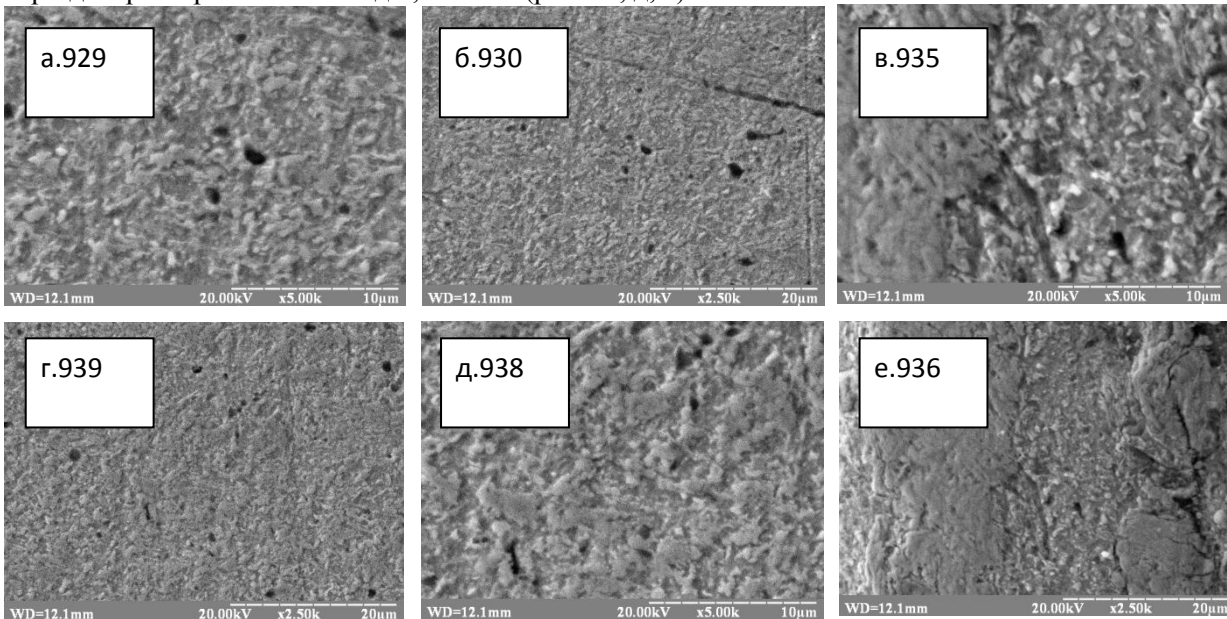


Рис. 3. Мікроструктура наплавленого шару із сталі 45

Подальша обробка наплавленого шару боруванням [2] за рахунок вторинного нагріву і охолодження, наявності боридів сприяють зміцненню точок структурних перетворень. Також спостерігається анізотропія кристалів із-за температурних градієнтів охолодження, витягнутість і спрямованість вглиб металу структурних складових (рис.4 а, б)

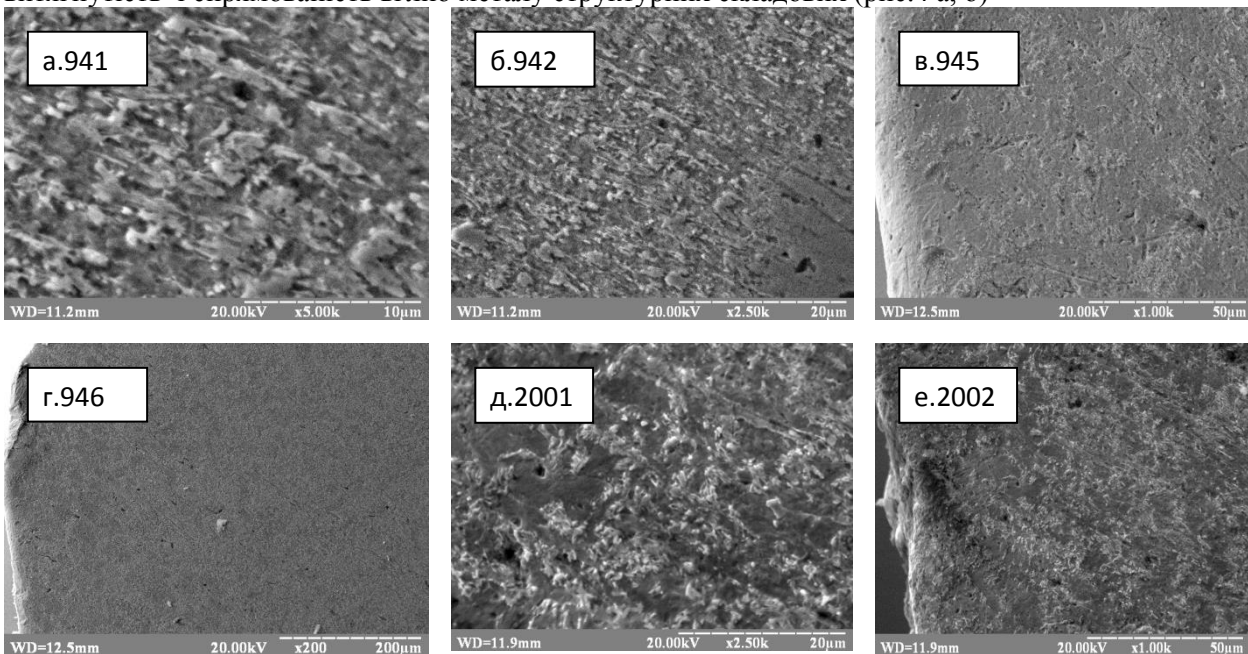


Рис.4. Мікроструктура наплавленого шару із сталі 45 з боруванням

Форма структури металу відповідає формі анізотропії кристалів (рис. 4. г). Поверхня має витягнуту структуру (рис.4 д, е) з білими вкрапленнями боридів, розмір яких коливається в межах від 100-150 мкм.

В результаті неодноразового нагріву і охолодження вихідна структура металу із сталі 45 суттєво змінюється. Наплавлений шар при відновленні деталі наплавленням має істотні відмінності за хімічним складом від вихідної структури. Так в структурі відновленої трансформованої поверхні в основному спостерігається перлітна структура з вкрапленнями карбідів (рис.5 а, б, в). Сам шар має збіднену вуглецеву структуру з частками карбідів розмір яких коливається в межах 0,5 мкм.(рис. 5 г, д, е).

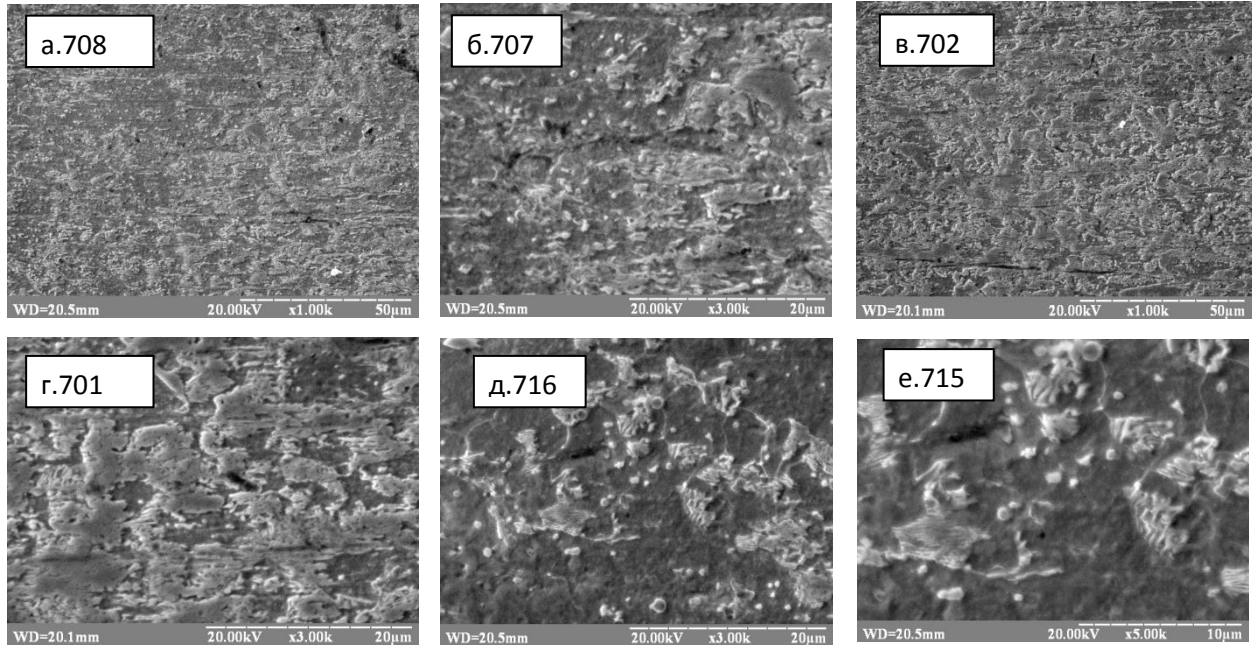


Рис. 5. Мікроструктура поверхні наплавленого шару із сталі 45 з боруванням

За результатами замірів твердості вихідної та відновленої поверхні, що проводили за методом Брінеля були побудовані наступні залежності (рис,6)

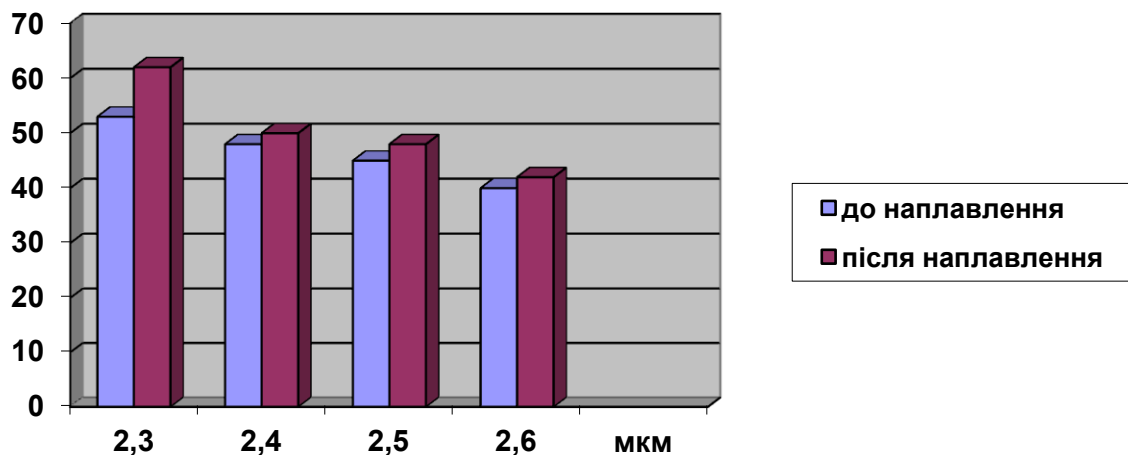


Рис.6. – Графік розподілу мікротвердості вихідного і наплавленого шару із сталі 45

Висновки. Розроблена технологія відновлення зношених поверхней деталей автомобілів із сталі 45 на основі електродугового наплавлення. Досліджені структури поверхневих зношених, відновлених і зміцнених шарів. Побудовані графічні залежності мікротвердості поверхневого шару при відновленні і зміцненні захисних покриттів.

Інформаційні джерела

1. Серeda Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів. Монографія /Серeda Б.П., Калініна Н.Є., Кругляк І.В.- Запоріжжя.РВВ ЗДІА, -2004, -230 с.
2. Скорняков Є.С., Чернета О.Г., Волощук Р.Г. Відновлення кулачків розподільних валів електродуговою наплавкою.ЗНП ЛНТУ №7(2)2015, - 113с.

Чернета О.Г., к.т.н., Сухомлин В.И. к.т.н., Волощук Р.Г., Серeda Б.П.д.т.н.

Днепроvский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 45 ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И МНОГОКРАТНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

В данной работе приведен анализ трансформации микроструктуры поверхностного слоя изношенных и восстановленных деталей автомобилей из стали 45, приведен анализ и исследования физико-механических свойств рабочих слоев. Рассмотрены вопросы

использования существующих технологических методов восстановления и обработки. По результатам проведенных исследований получены фотографии с микроструктурами рабочих поверхностей до и после восстановления, построены графические закономерности микротвердости поверхностного слоя детали.

O. Cherneta, V. Suhomlin, R. Voloshchuk, B. Sereda

Dniprovsk State Technical University

**THE INVESTIGATION OF CAR TOOLS WEAR MICROSTRUCTURE FROM
STEEL 45 AFTER FORMED AND HEAT TREATMENT**

The analysis of microstructures transformation of car formed and wears layers from steel 45, and the analysis of physic-mechanic properties of working surfaces are given in the article. The questions of using technological methods of renewing and treatment are discussed. One of the urgent tasks of timing hardening – the development the using technological methods formed and treatment working surfaces. Due to the results of working surfaces investigation the pictures of formed and wear layers microstructures were received.

Key words: renewing, wear, technological methods of treatment, working surfaces, car details, microstructure.

**ОТРИМАННЯ ШУМО-ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У
ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ**

В результаті проведених експериментальних досліджень контролю початкового стану підшипника кочення і після його напрацювання у 1000 годин були отримані спектрограми та діаграми станів підшипника за допомогою програм GoldWavema Spectrogram 16. Співставлення та аналіз отриманих діаграм та спектрограм дозволяє зробити висновки про стан підшипника кочення в залежності від виду мастильного матеріалу. Застосування даного метода діагностики підшипників кочення дозволяє отримати уявлення про ступінь його зношування, виключаючи при цьому операції розбирання-збирання, що значно підвищує ресурс роботи підшипника та здешевлює ремонтно-діагностичні роботи. Експериментальні дані акустичних параметрів підшипників, отримані на лабораторній установці були порівняні з параметрами на стенді по дослідженню тягово-динамічних параметрів автомобілів.

Ключові слова: підшипник, метод, спектрограма, лабораторна установка, експеримент, діаграма, неруйнівний контроль

Постановка проблеми. Термін служби підшипникових вузлів та агрегатів автомобілів багато в чому визначається якістю встановлених підшипників кочення. При аналізі дефектів підшипників кочення досить ефективним методом діагностики являється шумо-діагностичний спосіб неруйнівного контролю, який дозволяє визначити стан того чи іншого підшипника після певного терміну його напрацювання, при цьому не розбираючи підшипниковий вузол. Дас змогу оцінити за акустичними параметрами ефективність того чи іншого змащувального матеріалу який застосовується у підшипників кочення.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питаннями визначення причин руйнування підшипників кочення займаються багато вчених. Останній час набуває поширення застосування пристроїв та приладів неруйнівних способів контролю підшипників кочення [1-8].

Аналіз даних літературних джерел показав, що проблема неруйнівного контролю підшипників має велике практичне значення для автомобільного транспорту, так як цей метод діагностики виключає необхідність розбирання-збирання вузлів, що мають підшипники кочення, а значить підвищується термін роботи вузла та зменшується вартість ремонту.

Метою роботи являється проведення досліджень на модернізованій лабораторній установці по діагностуванню підшипників кочення, які використовуються у маточині автомобіля УАЗ 453, шумо-діагностичним методом з використанням програмного забезпечення GoldWave та Spectrogram, та співставлення діаграм та спектрограм отриманих як на лабораторній установці так і на стенді по визначенню тягово-динамічних параметрів автомобілів.

Матеріали досліджень. Експеримент по дослідженню віброакустичних показників підшипника кочення проводився у декілька етапів. Перший етап проводився наступним чином: підшипник 306 змащували мастилом №158, та встановлювали на лабораторну установку (рис. 1), тобто корпус з підшипником встановлювали з натягом на вал та приєднували до електродвигуна; через систему важелів змінювали навантаження на валу, на якому посаджено підшипник кочення, тим самим змінюючи навантаження на сам підшипник. За допомогою акустичних датчиків та комп'ютерної техніки з відповідним програмним забезпеченням записували аудіо-файли; після вимикання установки, проводилось її часткове розбирання з метою заміни підшипників з іншим мастилом. Далі проводився наступний запуск установки з підшипниками у яких застосовувалось мастило ЛІТОЛ-24 та проводився запис аудіо-файлів. Випробування на другому етапі проводились аналогічним чином, як і для мастила №158. Було проведено декілька циклів запису файлів напрацювання підшипників з різними мастилами, після чого за допомогою програм GoldWave та Spectrogram 16 було проведено аналіз цих файлів.

На третьому етапі проводились дослідження підшипників маточини автомобіля УАЗ 452 на стенді по дослідженню тягово-динамічних параметрів. За допомогою датчику шуму та відповідного програмного забезпечення були записані аудіо-файли шумо-діагностичних параметрів підшипників маточини коліс автомобіля (рис. 2).



Рис. 1. Лабораторна установка шумо-діагностичного контролю підшипників кочення

У результаті проведення експерименту були отримані діаграми шумо-діагностичних показників підшипників кочення, в яких застосовувались мастила ЛІТОЛ 24 і та змазка №158. (спектрограми, діаграми та показники шуму) надали можливість побачити та проаналізувати стан зносу підшипника в залежності від їх часу напрацювання, а також вплив змащувального матеріалу на поведінку віброакустичних показників. Також данні акустичних параметрів підшипників, отримані на лабораторній установці порівнювались з відповідними даними на стенді по дослідженню тягово-динамічних параметрів автомобілів.



Рис. 2. Дослідження акустичних параметрів підшипників на стенді по дослідженню тягово-динамічних параметрів автомобілів .

Аналіз аудіо файлів, де використовувалися різні мастила, дав змогу побачити, як змінюється поведінка віброакустичних показників на початку дослідження (після 100 годин напрацювання) та підшипника у граничному стані зносу (після 1000 годин напрацювання). На рис.3 та 4 наведені діаграми шумо-діагностичних показників підшипників з мастилами №158 та ЛІТОЛ 24 і величиною навантаження підшипника 20кг. На рис.5 наведена діаграма акустичних параметрів підшипників маточини колеса автомобіля, який проходив випробування на стенді по дослідженню тягово-динамічних параметрів автомобілів .

Данні діаграми дають змогу наглядно побачити стан зношування дослідного підшипника та залежність його стану від змащувального матеріалу, а також від величини навантаження. Білим кольором на діаграмі показаний початковий стан дослідного підшипника, а чорним -- граничний стан.

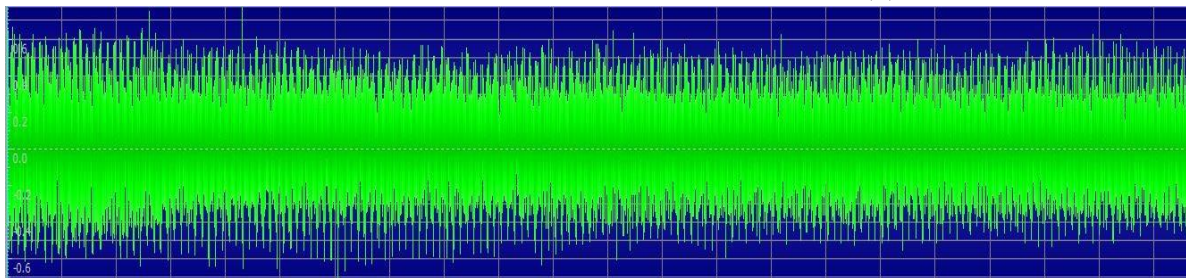


Рис. 3. Діаграма шумо-діагностичних показників з застосуванням змазки №158, P=20 кг

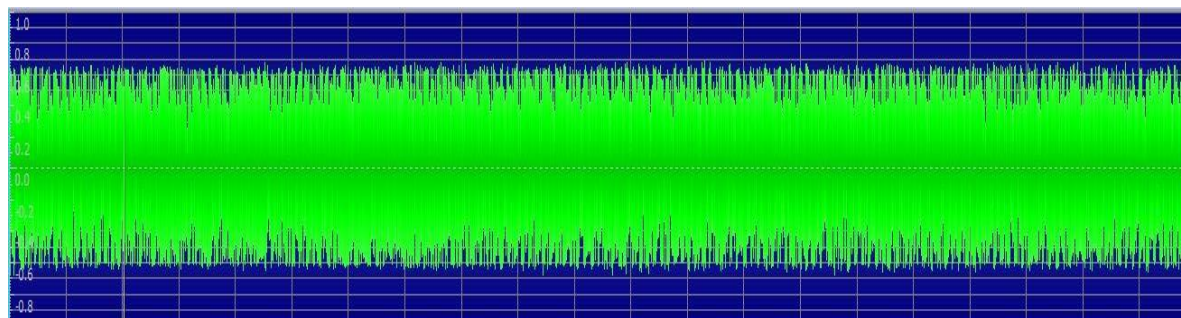


Рис. 4. Діаграма шумо-діагностичних показників з застосуванням змазки ЛІТОЛ-24, P=20 кг

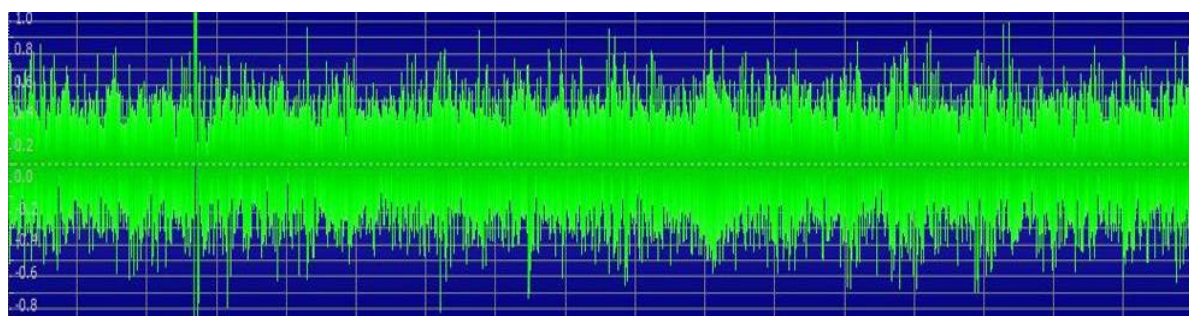


Рис. 5. Діаграма стэнд тягово-динамічних параметрів.

У таблиці 1 наведені данні величин шумового діапазону, який фіксувався на протязі кожного циклу експерименту на різних мастилах.

Таблиця 1

Результати замірювання рівня шуму підшипників кочення

Час роботи, год.		100	200	300	400	500	600	800	1000
Величина звукових коливань, дБ	№158	47	47	48	50	56	61	70	72
	ЛІТОЛ-24	45	46	49	55	61	69	77	78
	Стенд тягово-динамічних параметрів	53	55	58	63	70	77	85	88

На підставі даних табл. 1 було складено графік (рис. 6) на якому можна проаналізувати залежності шумового діапазону підшипників кочення від їх напрацювання на різних лабораторних установках.

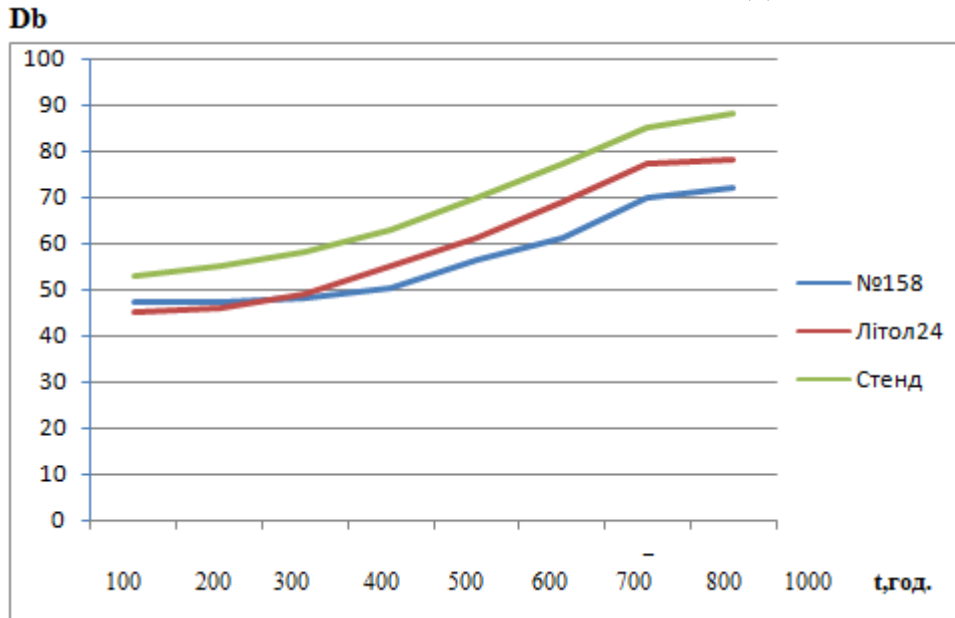


Рис. 6. Графік залежності шумового діапазону від напруцювання

Висновки. На основі проведеного експерименту та аналізу отриманих даних, ми можемо зробити наступний висновок, що застосований нами метод неруйнівного діагностичного контролю підшипників дозволяє отримати найбільш достовірні данні про стан підшипників кочення після певних величин їх спрацювання та попередити руйнування всього вузла в цілому. При цьому ми не отримуємо даних про вид дефекту руйнування, а тільки можемо контролювати загальний стан, що є недоліком цього методу. метод дозволяє розробити рекомендації по застосуванню тих чи інших видів мастильних матеріалів у підшипниках кочення.

Інформаційні джерела

1. Білокур І.П. Дефектологія та неруйнівний контроль. – Київ: Вища шк., 1990. – 207 с.
2. Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник/ Под. ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
3. Білокур І.П., Коваленко В.А. Дефектоскопія матеріалів та виробів. – Київ: Техніка, 1989. – 192 с.
4. Алёшин Н.П., Белый В.Е., Вopilкин А.Х. и др. Методы акустического контроля металлов. – М.: Машиностроение, 1989. – 465 с.
5. Ермолов І.Н., Альошин Н.П., Потапов А.І. Неруйнівний контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустичні методи контролю: Практ. Посібник. – К.: Вищ. Шк., 1991 – 283 с.
6. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалёв и др.; Под ред. В.В. Клюева. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. 656 с., іл.
7. Крауткремер Й., Крауткрамер Г. Ультразвуковой контроль материалов: справочник. Изд. – М.: Металлургия, 1991. 752 с..
8. Горбунов А.Г. Диагностика технического состояния подшипниковых узлов / Горбунов А.Г. // Труды ВНИИЭМ, 2000, №2, с. 54-60.

Шматко Д.З., к.т.н., Аверьянов В.С., к.т.н., Слота И.О., магистрант

Днепропетровский государственный технический университет

ПОЛУЧЕНИЕ ШУМО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В результате проведенных экспериментальных исследований контроля начального состояния подшипника качения и после его наработки в 1000 часов были получены спектрограммы и диаграммы состояний подшипника с помощью программ GoldWave и Spectrogram16. Сопоставление и анализ полученных диаграмм и спектрограмм позволяет сделать выводы о состоянии подшипника качения в зависимости от вида смазочного материала. Применение данного метода диагностики подшипников качения позволяет получить представление про степень его износа, исключая при этом операции разборки-сборки, что

значительно увеличивает ресурс работы подшипника и удешевляет ремонтно-диагностические работы. Экспериментальные данные акустических параметров подшипников, полученные на лабораторной установке были сравнены с параметрами на стенде по исследованию тягово-динамических параметров автомобилей.

Ключевые слова: подшипник, метод, спектрограмма, лабораторная установка, эксперимент, диаграмма, неразрушающий контроль.

D. Shmatko, V. Averyanov, I. Slota

Dneprodzerzhinsk State Technical University

**GETTING NOISE-DIAGNOSTIC PARAMETERS OF ROLLING BEARINGS IN
DEPENDING ON APPLICATION MATERIALS IN LABORATORY**

As a result of experimental studies control the initial state of the roller bearing and after operating time of 1000 hours were obtained spectrogram and bearing state diagrams using GoldWavei Spectrogram16 programs. Comparison and analysis of graphs and spectrograms allows you to draw conclusions about the state of the rolling bearing according to the type of lubricant material. Primenenie this method of diagnosis of rolling bearings allows you to get an idea about the extent of its deterioration, excluding operations rozborki-assembly, which significantly increases the service life of the bearing and It reduces the cost of repair and diagnostic work. Of experimental data of the acoustic parameters of bearings produced in a laboratory were compared with the parameters on the bench for the study of dynamic towing vehicle parameters.

Keywords: bearing, method, spectrogram, laboratory apparatus, experiment, chart, non-destructive testi

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 (290х210 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 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.

- Заява на ім'я редак

ся 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-вимірювальні 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 Приватбанку № 5168 7572 9835 1109

В призначенні платежу слід вказати «**За видання статті у збірнику «Перспективні технології та прилади» від (ПІБ)**».

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»)

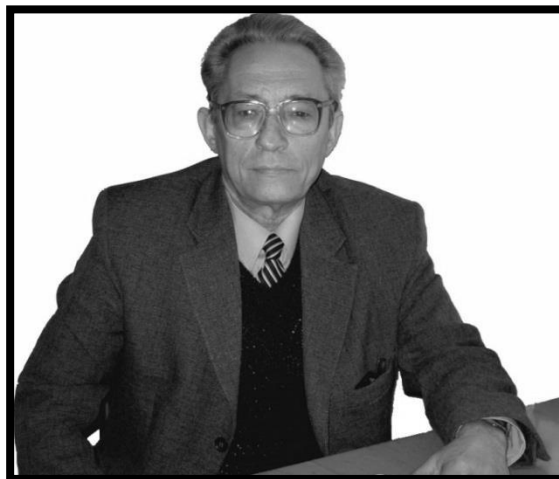
Журнал включено до переліку міжнародних наукових видань за номером ISSN 2313-5352

Видання індексується **Google Scholar**

Видання в національній бібліотеці **імені В.І. Вернадського**

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів можна отримати у технічного секретаря – **Пристапи Станіслава Олексійовича** за тел. **(0332) 26-29-43, 096-82-35-503 099-27-50-841**, або за електронною адресою: **confkptm@gmail.com**.

Дуже великим сумом стала звістка про те, що перестало битися серце дуже хорошої людини, мудрого науковця, справжнього освіченого інтелігента, хорошого друга, вчителя та наставника, завдяки якому знайшли свій правильний вибір у житті багато його учнів, кандидата технічних наук, доцента **МАРЧЕНКА ВАЛЕРІАНА МИКОЛАЙОВИЧА**.



Валеріан Миколайович після закінчення Львівського політехнічного інституту працював на виробництві та навчався в аспірантурі ЛПІ, а після здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук працював на викладацьких посадах в ЛПІ та Луцького технічного університету. За всю свою трудову діяльність ним було написано та видано значну кількість наукових праць. Своїй роботі на кафедрі приладобудування Луцького національного технічного університету Валеріан Миколайович присвятив десять років свого життя.

Світла пам'ять про цю чудову людину назавжди залишиться в серцях його рідних, друзів, учнів та знайомих.

ДЛЯ НОТАТОК

[illegible]

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Комп'ютерний набір: Приступа С.О.
Коректор: Ткачук А.А.
Технічний редактор: Мороз С.А.
Відповідальний за випуск: Марчук В.І.

Друкується в авторській редакції

Здано у виробн. 27.12.2016 р.
Формат 30х42/4. Папір офсетний.
Гарнітура TimesNewRoman
Наклад 500 прим.

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі
Луцького національного технічного університету
43018, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75