

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 6 ( 124 )  
Частина 2  
2008**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Луганськ 2008**

# ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**№ 6 (124) 2008**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ  
ВИХІД З ДРУКУ - ДВНАДЦЯТЬ  
РАЗІВ НА РІК

Засновник  
Східноукраїнський національний  
університет імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано  
Міністерством України у справах  
преси та інформації

Свідоцтво про державну реєстрацію  
серія КВ № 2411 від 19.12.96 р.

# VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAL EAST  
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

**№ 6 (124) 2008**

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 1996  
IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR

Founder  
of the Volodymyr Dal East Ukrainian  
National University

Registered by the Ministry of Ukraine  
For Press and Information

Registration Certificate  
KB № 2411 dated 19.12.96

Журнал включено до Переліків наукових видань ВАК України № 2 (Бюл. ВАК № 5 (13) 1999 р.), № 3 (Бюл. ВАК № 6 (14) 1999 р.) та № 4 (Бюл. ВАК № 2 (16) 2000 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з *технічних, історичних та економічних наук* відповідно.

**Головна редакційна колегія:** Голубенко О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук, докт. техн. наук (головний редактор), Осенін Ю.І., докт. техн. наук (заступник головного редактора), Смирний М.Ф., докт. техн. наук (заступник головного редактора), Арлінський Ю.М., докт. фіз.-мат. наук, Будиков Л.Я., докт. техн. наук, Бузько І.Р., докт. екон. наук, Голубничий П.І., докт. фіз.-мат. наук, Гончаров В.М., докт. екон. наук, Грібанов В.М., докт. техн. наук, Довжук І.В., докт. іст. наук, Дорошко В.І., докт. техн. наук, Житна І.П., докт. екон. наук, Касьянов М.А. докт. техн. наук, Козаченко Г.В., докт. екон. наук, Куликов Ю.А., докт. техн. наук, Лазор Л.І., докт. юр. наук, Литвиненко В.Ф., докт. істор. наук, Максимов В.В., докт. екон. наук, Михайлюк В.П., докт. іст. наук, Нагорний Б.Г., докт. соціол. наук, Носко П.Л., докт. техн. наук, Петров О.С., докт. техн. наук, Рач В.А., докт. техн. наук, Рей Р.І., докт. техн. наук, Суханцева В.К., докт. філос. наук, Третьяченко В.В., докт. психол. наук, Тюпало М.Ф., докт. хім. наук, Ульшин В.О., докт. техн. наук, Шевченко Г.П., член-кор. Академії педагогічних наук України, докт. пед. наук.

**Відповідальний за випуск:** Рей Р.І.

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 7 від 27 березня 2008 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2008  
© of the Volodymyr Dal East Ukrainian National University, 2008

## З М І С Т

<b>Касьянов М.А., Медяник В.О., Гунченко О.М., Вишнєвський Д.А.</b>	3
ПРОБЛЕМИ СТАНУ І НЕОБХІДНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ В ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	3
<b>Стоянов О.А., Бурко В.В., Гладушин В.В., Шенкман Г.Л., Мацевич В.М.</b>	10
АНАЛІЗ СПОСОБІВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ НАНОСТРУКТУРУВАННЯМ ТА НАСИЧЕННЯМ ТВЕРДИМИ МАСТИЛАМИ .....	10
<b>Шалевская И.А., Тихонович В.И.</b>	15
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ .....	15
<b>Волкова С.А., Колодяжная Л.Г.</b>	18
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ ИЗ СТАЛИ 45ХН .....	18
<b>Гедрович Д.А., Касьянов Н.А., Гедрович А.И.</b>	24
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ, СВЯЗАННЫХ СО СВАРКОЙ .....	24
<b>Чернецька Н.Б., Соломіна О.В.</b>	26
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОЇЗДОПОБУДОВИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА ЗАСТОСУВАННЯМ ВАРІАННОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	26
<b>Сидоренко И.И., Гутыря С.С., Носко П.Л.</b>	29
СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПАССИВНЫХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ.....	29
<b>Жданов С.А., Жданова М.Н.</b>	36
ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ .....	36
<b>Жидков А.Б., Паненко Р.Н.</b>	39
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АЧХ В ПРОЦЕССЕ ВИБРООБРАБОТКИ .....	39
<b>Пительгузов Н.А., Черных А.В., Гунченко О.Н.</b>	44
ПРОБЛЕМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ТРАВМАТИЗМА НА .....	44
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	44
<b>Павлов А.И., Шишов В.П., Филь П.В., Карпов А.П.</b>	46
ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ .....	46
<b>Колодяжный П.В.</b>	49
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 12Х18Н10Т СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК .....	49
<b>Пронін М.О., Заїка В.С.</b>	56
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕПРИВОДНИХ КОНВЕЄРІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ З НАХИЛЕНИМИ ЦИЛІНДРИЧНИМИ КАНАЛАМИ.....	56
<b>Рудь В.Д., Божко Т.С.</b>	59
ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ СПЕЧЕНИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ .....	59

<b>Колібабчук О.О., Касьянов М.А.</b>	
УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВОК ПОЖЕЖОГАСІННЯ .....	63
<b>Тарарычкін І.А.</b>	
ПРОГРАММИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПРОДОЛЬНЫХ СТЫКОВ ОБЕЧАЕК .....	68
<b>Сидоренко І.І., Гутиря С.С.</b>	
ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОМА ДІЛЯНКАМИ КОМБІНОВАНОЇ ПРУЖНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	77
<b>Шишкін А.А.</b>	
ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ШКИВНЫХ ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЕЙ .....	84
<b>Харламов Ю.А., Шевченко А.В.</b>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ЯДРА В ПЛАКИРУЮЩЕЙ ОБОЛОЧКЕ ЧАСТИЦ ПРИ НАПЫЛЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ .....	88
<b>Чернецька Н.Б., ю.в.Калашнікова Ю.В.</b>	
МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАНТАЖОПОТОКІВ НА ОПОРНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ .....	91
<b>Арлинский О.Ю., Дейнека И.Г., Мычко А.А., Гуляков В.П.</b>	
МЕТОД ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ПАКЕТА .....	94
<b>Лагута В.И., Гутько Ю.И., Хинчагов Г.В., Рюдигер Бэр</b>	
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ ВЫСОКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ЧУГУНОВ МАРГАНЦЕМ .....	98
<b>Касьянов М.А., Мальоткін В.М., Друзь О.М., Медяник В.О., Сало В.І.</b>	
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....	103
<b>Басов Г.Г., Можейко А.В.</b>	
ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ 20Л И 25Л ЛИТЫХ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ .....	107
<b>Дорошко В.В., ю.п.Коробецький Ю.П.</b>	
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	109
<b>Дрягин Д.П.</b>	
СТРУКТУРНОЕ КАЧЕСТВО НЕОДНОРОДНЫХ ОДНОСЕМЕЙСТВЕННЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ .....	113
<b>Кожин В.Н., Александров Д.В., Александров В.С., Пугачев Д.Н.</b>	
ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ .....	115
<b>Игнатъев Б.Б., Игнатъева В.Б.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ПРИ ОКОНЧАТЕЛЬНОМ ФОРМОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДАВЛЕНИЕМ .....	117

**Нечаев Г.И., Коров Г.В., Коров Ю.П.**

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА ..... 123

**Чесноков А.В.** К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ СТЕРЖНЕВЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ.....126

**Касьянов М.А., Михайлов Д.В.**

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ У ОБ'ЄМАХ, ЩО ВЕНТИЛЮЮТЬСЯ ..... 130

**Пронін М.О., Заїка В.С.**

УМОВА РУХУ ВАНТАЖІВ ГРАВІТАЦІЙНИМИ КОНВЕСРАМИ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ ..... 137

**Павлов А.И., Воронцова Д.В., Карпов А.П., Филь П.В.**

ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА С ВНУТРЕННИМ ЭВОЛЮТНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ ..... 140

**Молчанов Д.В., Лубенская Л.М, Романченко А.В.**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПОД ЗАЩИТНЫЕ И ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ ..... 143

**Малов В.А., Касьянов М.А., Пигельгузов М.А.**

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ КУЗОВА ВАГОНА ПАСАЖИРСЬКОГО РУХОМОГО  
СКЛАДУ ..... 146

**Ткачук О.А., Поляченко С.Ю.**

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ LABVIEW В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ..... 151

**Матвийчук В.А.**

СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ ..... 156

**Гунченко О.М., Касьянова К.М.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ (СУОП)  
МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ..... 161

**Марущак П.О., Баран Д.Я.**

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТАТИЧНУ ТА ЦИКЛІЧНУ ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 25Х1М1Ф ..... 165

**Колесников В.А., Федорченко В.Г., Подлесный С.В.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВАЛЬЦОВКИ ТОНКОСТЕННЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ  
ТРУБ ..... 176

**Климова О.М., Касьянов Н.А.**

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕДНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТНИКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... 181  
Анотації .....187  
Відомості про авторів ..... 191



М.А.Касьянов, В.О.Медяник, О.М.Гунченко, Д.А.Вишнєвський

**ПРОБЛЕМИ СТАНУ І НЕОБХІДНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ В ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Наведений аналіз стану травматизму в машинобудівній галузі і вказано на необхідність визначення мети будь-якого підприємства як «Безпечне виробництво». Рис. 1, табл. 3, дж. 15.

**Аналіз стану питання.** Інтеграція України в Європейське Співтовариство, вступ до Міжнародної Організації Торгівлі вимагають швидкої адаптації не тільки нормативних документів в галузі охорони праці до існуючих європейських стандартів, але і усвідомлення цієї необхідності як керівними працівниками підприємств всіх форм власності, так і рядовими працівниками. Для цього необхідно, в першу чергу, виконати аналіз і оцінку відповідності документів, що діють в Україні, і системи управління охороною праці (СУОП) в цілому.

Не зважаючи на те, що до розвалу Союзу в Україні діяв Кодекс законів про працю, він не міг вирішувати всі проблеми в цій галузі, оскільки техніка і технології постійно удосконалювались, змінювалися специфіка і напруженість праці. Тому на початку 70-х рр. минулого століття була розроблена і впроваджена Система Стандартів Безпеки Праці (ССБП), яка в 90-х рр. отримала в Україні назву Міждержавної ССБП [1]. А в 1975 р. Гогіташвілі Г.Г. вперше запропонував, розробив і науково обґрунтував СУОП із застосуванням стандартів підприємства [2]. Необхідно відзначити, що це до певної міри вплинуло на СУОП і дійсний стан охорони праці, а також рівень виробничого травматизму. Але добросердя деяких керівників підприємств щодо підвищення безпеки праці передавалося рядовим працівникам і не забезпечувало формування їх відповідального ставлення до особистої безпеки і безпеки оточуючих. Ця проблема збереглася і в даний час, коли в країні формуються нові економічні відносини у сфері праці, відповідні ринкові моделі державного управління [3].

При цьому необхідно, зокрема, відзначити, що приховані нещасні випадки існували і до 90-х років минулого століття, вони є і зараз. Про це говорить те, що тільки в 2004 р. в порядку розслідування і обліку нещасних випадків ...» [4] цьому питанню було приділено конкретну увагу і встановлений норматив, відповідно до якого працедавець за прихований нещасний випадок зобов'язаний сплатити штраф, відповідний 10-кратній величині збитку, заподіяного працівникові.

В даний час повинні бути позначені нові взаємини, що фактично складаються між державою, працедавцями і найнятими робітниками, з урахуванням функцій, що змінилися. Ситуація посилюється ще і тим, що зарубіжні інвестори повсюдно вимагають від управлінців і власників підприємств всіх форм власності, для яких можливе і необхідне інвестування, швидкого впровадження вимог OHSAS 18001:2007 [2].

Постановка завдання. Виконаний короткий аналіз, а також необхідність обліку, в сучасних умовах роботи різних підприємств всіх видів професійного ризику видається доцільним досліджувати сучасні підходи і методи управління охороною праці з урахуванням положень OHSAS 18001:2007.

Позначена мета ще не говорить про те, що нам зараз необхідно ламати СУОП, яка фактично склалася в Україні на цей час. Ми вже неодноразово через це проходили, але хороших дивідендів не отримали. Т.ч. метою справжнього дослідження є укрупнена оцінка ступеня відповідності нормативних документів і підходів в галузі охорони праці до тих, що намітилися останнім часом, принаймні, в Європейському співтоваристві. Тому вважаємо необхідними в першу чергу показати основні вимоги міжнародних стандартів і проаналізувати, наскільки прийнятні в Україні в цій галузі нормативи можуть бути адаптовані до них.

**Матеріали і результати дослідження.** Відомо [2, 5], що міжнародний стандарт OHSAS побудований на основі циклу Демінга (рис. 1) або т.з. круга менеджменту і містить декілька етапів або функцій. За найважливіше цього циклу поставлена стратегія оцінки, планування, реалізації і контролю. Це означає, що кожне підприємство повинне, на підставі політики держави і з урахуванням конкретних технологій, устаткування і кадрового потенціалу розробити власну політику з питань охорони праці на основі ідентифікації, оцінки і розробки заходів щодо усунення або змен-

шення ризику на кожному робочому місці, пройти сертифікацію на відповідність вимогам OHSAS і зробити доступним цей документ, який визначає стратегію і обов'язки працедавця в галузі охорони праці.

У [2] вказується на те, що атестація робочих місць і складання карти умов праці зараз фактично використовується для підтвердження права працівника на пільги і компенсації за шкідливі і небезпечні умови праці і не стимулює усунення небезпеки, а на підставі цього обґрунтовується необхідність складання в процесі атестації карт оцінки професійного ризику на конкретних робочих місцях. Це, на наш погляд, є не зовсім коректним, оскільки в умовах ринкової економіки з жорсткою регламентацією витрат всі працедавці зацікавлені в зменшенні витрат, в т.ч. і на охорону праці (маються на увазі витрати, пов'язані з виплатами різних компенсацій, лікарняних, морально-го збитку і т.д.), і тому прагнуть різними організаційними і технічними заходами знизити рівень професійного ризику. Хоча актуальність проблеми навчання всіх без виключення працівників виявленню, усуненню або зниженню до прийнятного рівня професійного ризику не викликає сумніву, але при цьому і менеджмент підприємства і рядові співробітники повинні розуміти те, що функціонування будь-якої системи, в т.ч. і СУОП, залежить від того, як вони до неї ставляться і наскільки готові виконувати її вимоги.

Оскільки система OHSAS передбачає для ефективного функціонування СУОП внутрішні і зовнішні аудити та її сертифікацію, в т.ч. і міжнародними органами, то в [2] рекомендується до тих положень про СУОП, що діють на підприємствах, додати ще три документи, які передбачали б порядок розробки політики і стратегії підприємства в галузі охорони праці, ідентифікації і оцінки професійного ризику з розробкою заходів для їхнього усунення, і здійснення постійного контролю і прогнозування стану охорони праці, її внутрішнього і зовнішнього аудиту з відповідною сертифікацією.

В світлі вищевикладеного в даний час особливої актуальності набувають питання, пов'язані з методологією оцінки професійного ризику. Зокрема, в [6] вказано, що основними порушеннями нормативно-правових актів з охорони праці (НПАОП), які приводять до зростання ризику травмування, є:

- відсутність документального підтвердження того, що на підприємстві застосовуються машини і механізми, які відповідають встановленим вимогам безпеки НПАОП, що діють, а також того, що на ньому організована і діє служба охорони праці згідно з НПАОП;
- порушення нормативно-правових вимог до об'єктів підвищеної небезпеки.

В рамках розробки теоретичних основ професійного ризику в [7,8] вказано на те, що крім виявленого ризику пошкодження здоров'я внаслідок професійної діяльності у вигляді травм і профзахворювань існує прихований ризик його пошкодження шкідливими чинниками виробничого середовища, тяжкістю і напруженістю трудового процесу. Запропонована універсальна шкала (див. табл. 1) для оцінки збитку пошкодження здоров'я умовами праці залежно від класу їхньої шкідливості відповідно до нормативного документа Р 2.2.013-94., що діє в Росії.

Т а б л и ц я 1

**Шкала збитку пошкодження здоров'я в залежності від класу шкідливості умов праці**

Ступінь шкідливості умов праці відповідно до Р 2.2.013-94	Час скорочення тривалості життя, днів за рік	
	діапазон	середнє значення
3.1	2,5-5,0	3,75
3.2	5,0-12,5	8,75
3.3	12,6-25,0	18,75
3.4	25,1-75,0	50,0
4	75,0	

На основі цього підходу отримана кількісна оцінка ризику пошкодження здоров'я несприятливими умовами праці, яка показала, що для працюючого громадянина Росії клас шкідливості 3.3-3.4, який відповідає ~ 10-кратному перевищенню допустимих рівнів дії, зіставимий із сучасним ризиком летального результату внаслідок злочасних новоутворень, що становить 25 випадків на 10 тис. жителів і стійко посідає 2-3 місце в структурі смертності населення країни.

На думку [7] професійний ризик  $R_{пр}$  складається з ризику пошкодження здоров'я внаслідок травм різного ступеня тяжкості  $R_{тр}$  (включаючи летальний наслідок), ризику пошкодження здоров'я внаслідок професійних захворювань  $R_{п.з}$  і ризику пошкодження здоров'я шкідливими

умовами праці, тяжкістю і напруженістю трудового процесу, названого прихованим ризиком  $R_{\text{прих}}$ . Запропонована залежність для кількісної оцінки професійного ризику  $R_{\text{пр}}$ :

$$R_{\text{пр}} = (N_{\text{тр.лет.}}/N) \cdot Y_{\text{тр.лет.}} + (N_{\text{тр.}}/N) \cdot Y_{\text{тр.}} + (N_{\text{п.з.}}/N) \cdot Y_{\text{п.з.}} + \sum (N_{\text{прих.}}/N) \cdot Y_{\text{прих.}} \quad (1)$$

де  $N$  – загальне число працюючих, зайнятих на об'єкті;  $N_{\text{тр.лет.}}/N$ ,  $N_{\text{тр.}}/N$ ,  $N_{\text{п.з.}}/N$ ,  $N_{\text{прих.}}/N$  – частота пошкодження здоров'я з летальним наслідком, з втратою працездатності на один день і більше, профзахворювань, роботи в умовах праці класів шкідливості 3.1-4 за рік, відповідно;  $Y_{\text{тр.лет.}}$ ,  $Y_{\text{тр.}}$ ,  $Y_{\text{п.з.}}$ ,  $Y_{\text{скр.}}$  – збиток здоров'ю внаслідок травми з летальним наслідком, з втратою працездатності на один день і більше, профзахворювань, роботи в умовах праці класів шкідливості 3.1-4, відповідно (табл. 1).

Величина  $R_{\text{пр}}$  є сукупністю виявленого і прихованого ризику пошкодження здоров'я внаслідок професійної діяльності і названа інтегральним показником професійного ризику. У зв'язку з тим, що величина збитку від пошкодження здоров'я шкідливими чинниками виробничого середовища і трудового процесу виражається часом скорочення тривалості життя у кількості діб, то і збиток унаслідок травми з летальним наслідком або втратою працездатності на один день або більше, а також професійного захворювання, запропоновано виражати в цих же одиницях. Для його оцінки в названих випадках рекомендується використовувати шкалу Россера, вживану в медичних, демографічних і соціальних дослідженнях. Для проведення оцінних розрахунків запропоновано приймати:

– у разі травми з летальним наслідком –

$$Y_{\text{тр.лет.}} = (1 - 0) \cdot 365 = 365 \text{ діб п.ж./рік}; \quad (2)$$

– у разі травми з втратою працездатності на один день і більше –

$$Y_{\text{тр.}} = (1 - 0,9) K_T = 0,1 K_T \text{ діб п.ж./рік}, \quad (3)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт тяжкості травматизму;

– у разі фіксації профзахворювання –

$$Y_{\text{п.з.}} = (1 - 0,76) 365 = 87,6 \text{ діб п.ж./рік}. \quad (4)$$

У [7] вказано, що запропоновані кількісні значення збитку пошкодження здоров'я  $Y_{\text{тр.лет.}}$ ,  $Y_{\text{тр.}}$ ,  $Y_{\text{п.з.}}$  можуть уточнюватися фахівцями, але це за виконаними розрахунковими оцінками істотно не позначається на кінцевому результаті. У табл. 2 на основі інтегрального показника наведені результати аналізу структури професійного ризику для виробничої сфери Росії, які показують, що частка прихованого ризику є такою, що превалює загальному професійному ризику і знаходиться в інтервалі від 72,5 до 91,6%.

Т а б л и ц я 2

**Структура професійного ризику у виробничій сфері Росії**

Галузь, вид діяльності	R <sub>пр.</sub> , діб за рік	Частка %			
		R <sub>тр.лет.</sub>	R <sub>тр.</sub>	R <sub>п.з.</sub>	R <sub>прих.</sub>
Виробнича сфера в цілому	0,94	5,1	1,6	1,7	91,6
Вугільна промисловість	2,21	7,0	3,4	11,4	78,0
Сільське господарство	1,71	5,0	2,0	5,3	87,7
Кольорова металургія	1,39	5,8	1,0	9,4	83,3
Машинобудування і металообробка	0,96	3,1	1,2	17,7	78,0
Легка промисловість	0,75	2,7	0,8	11,9	84,6
Будівництво	0,47	20,4	3,4	3,7	72,5
Зв'язок	0,16	14,7	3,7	1,2	80,4

Такий підхід до оцінки професійного ризику пояснює парадоксальність ситуації в галузі охорони праці, коли значна кількість трудящих працює в умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам, або в несприятливих умовах праці, а профзахворюваність, що фіксується на 10 тис. працюючих, в 30-45 разів нижче, ніж в розвинених країнах, тим, що відношення прихованого пошкодження здоров'я шкідливими умовами праці до виявленого у вигляді профзахворювань становить для виробничої сфери Росії  $91,6/1,7 = 50$  разів. Тобто те, що в розвинених країнах фіксується як виявлене пошкодження здоров'я, в Росії поки залишається прихованим. Це твердження стосується і України.

У [9,10] дана інформація про виробничий травматизм з 1985 по 2005 рр. (табл. 3) по Україні та по Луганській і Донецькій областях, як по найбільш травмо небезпечних регіонах.

Аналіз стану промислової безпеки за 2005 р., виконаний для підприємств Луганської області [10], показує зменшення в порівнянні з 2004 р. на 11% загальної кількості травмованих (2788

проти 3146). Але травматизм залишається на неприпустимо високому рівні в таких галузях, як вугільна (2277 проти 2568), машинобудування (128 проти 137), соціально-культурна сфера (94 проти 117), агропромисловий комплекс (81 проти 109), будівництво (57 проти 61). Причини виробничого травматизму зі смертельним наслідком носять в основному організаційний (62 випадки з 88, тобто – 70%) і психофізіологічний характер (19 випадків, тобто – 21%).

Т а б л и ц я 3

**Травматизм на виробництві по роках**

Показник	1985	1990	1995	1996	1998	1999	2000	2001	2004	2005
Число травмованих з втратою працездатності на один робочий день і більше та із смертельним наслідком всього по Україні в цілому, тис. чол.	130,3	139,6	80,5	64,8	50,9	43,3	34,3	33,9	22,7	20,8
у Луганській області, тис. чол.	16,9	20,7	12,7				6,3	5,8	3,20	2,8
у Донецькій області, тис. чол.	29,5	40,1	31,5				12,9	12,1	7,2	1,8
Число смертельно травмованих по Україні в цілому, тис. чол.	3,0	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,3	1,1	1,1
у Луганській області, чол.	237	212	195				202	93	90	88
у Донецькій області, чол.	411	386	356				216	322	235	109
Число людино-днів непрацездатності по Україні в цілому, тис.	2874	3182	2122	1782	1468	1251	...	1029		
На 1000 працюючих										
Число травмованих з втратою працездатності на один робочий день і більше та із смертельним наслідком всього по Україні в цілому, чол.	5,5	6,2	4,5	3,8	3,4	3,0	2,6	2,7		
у Луганській області, чол.	12,3	12,3	16,1				9,1	8,7		
у Донецькій області, чол.	12,2	12,2	17,3				9,3	9,0		
Число смертельно травмованих по Україні в цілому, чол.	126	117	116	109	102	92	95	105		
у Луганській області, чол.	172	165	192				290	139		
у Донецькій області, чол.	169	166	189				156	239		
Число людино-днів непрацездатності по Україні в цілому	121,6	140,7	118,2	105,7	99,1	87,4	...	81,3		
На 1 потерпілого										
Число людино-днів непрацездатності по Україні в цілому	22,0	22,8	26,4	27,5	28,9	28,9	...	30,3		

У галузі машинобудування, що включає 213 підприємств з 47130 працівниками, з яких 2147 осіб працює на підприємствах держвласності, в 2005 р. допущено 128 нещасних випадків (на 9 менше, ніж в 2004 р.), включаючи 3 – зі смертельним наслідком та 1 – груповий, в якому постраждали дві людини. Основними причинами нещасних випадків є незадовільний контроль за безпечним веденням робіт з боку посадовців підприємств і порушення інструкцій з охорони праці по професіях і видах виконуваних робіт, тобто причини організаційного характеру. У [10] ці ж причини указуються як основні і для підприємств металургійного комплексу області, зокрема, наголошується недостатня вимогливість працівників служб охорони праці до посадовців і фахівців, що не виконують свої функціональні обов'язки в частині створення безпечних умов праці. Необхідно відзначити, що аналогічні тенденції, але меншою мірою, характерні і для зарубіжних країн. Так, в [11] за наслідками аналізу причин виробничого травматизму в нафтогазовій компанії показано, що технічних причин припадає на частку нещасних випадків близько 20%, а 80% становлять організаційні причини, що відбивають вплив людського чинника.

У 1998 р. у Бельгії сталося 218916 випадків виробничого травматизму [13]. В середньому за кожен травму страхові фірми виплачували по 4320 євро. Високий рівень травматизму характерний для будівництва, виробництва металовиробів, при зборі та утилізації відходів. У 1996 р. в Нідерландах кількість випадків важкого виробничого травматизму (збитки від яких перевищують

100 тис. гульденів, або працівник потрапляє до лікарні) виросла на 40% і становила 860, в 1997 р. – 1073, в 1998 р. – 1206, в 1999 р. – 2495 [12]. У ФРН в 1998 р. коефіцієнт виробничого травматизму зменшився до 39,4 на 1000 працівників, зайнятих повний робочий день, проти 39,6 – у 1997 р. [12]. У 1988 р. цей коефіцієнт становив 52, а в 1960 р. був у 3 рази вище. Знизилася і цифри в абсолютному виразі практично по всіх категоріях. Так, число нещасних випадків з трьома днями непрацездатності і більше скоротилося на 1,9% і дорівнювало 1,2 млн, на 9% знизилася кількість важких травм, що привели до виплати пенсій по інвалідності, – 32000. Але число нещасних випадків по дорозі на роботу і з роботи виросло на 2,9% (184000).

У [13, 14] відмічено, що в Україні з 77 заходів щодо поліпшення стану безпеки праці і виробничого середовища, за джерелами фінансування, умовно розбитими на 2 групи, 71 повинні були фінансуватися за рахунок коштів Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань в Україні (Фонд), а 6 – за рахунок Держбюджету. Але жодне з останніх 6 заходів і 3, віднесених до першої групи, не фінансувалися, по решті заходів закінчено 2 роботи, 30 виконуються відповідно до календарних термінів, 16 – з відставанням від календарного плану, по 4 – Фондом не прийняті у виконавців навіть етапи 2002 р., по 3 – договірні матеріали знаходяться на розгляді у Фонді, по 13 – не укладені договори або виконавці відмовилися від їх виконання.

Українським Національним НДІ охорони праці, відповідно до рекомендацій науково-методичного семінару «Економічні аспекти у сфері охорони праці» (28.11.2003 р.), з метою посилення ролі економічних обґрунтувань при ухваленні управлінських рішень з охорони праці і вирішення проблем впровадження економічних методів її управління, розроблено проєкт «Концепції економічного управління охороною праці і регулювання промислової безпеки» [15]. Проблема, рішення якої передбачається в концепції, – це забезпечення обмеження дії джерел небезпеки на персонал, населення і навколишнє середовище встановленими нормами за рахунок розробки і впровадження комплексу нормативно-правових актів, спрямованих на реалізацію механізмів стимулювання працевлаштування до поліпшення умов праці і організацію виробничих процесів з ризиком аварій, нещасних випадків і профзахворювань в допустимих рівнях і стимулювання найнятих робітників в усвідомленому ставленні до особистої безпеки і безпеки оточуючих, в старанному виконанні нормативно-правових вимог з охорони праці.

Причинами переходу до управління ризиками, відповідно до концепції, є: інтеграція України в світову економічну систему, що вимагає адаптації вітчизняної нормативно-правової бази, в т.ч. і з питань охорони праці до вимог Міжнародної організації праці, стандартів і директив Євросоюзу, які орієнтують на обов'язковість виконання вимог технічних регламентів і добровільність вибору методів організації безпечної взаємодії людини з технікою; зростаюча конкуренція і орієнтація виробництва на нові технології, що змінюють умови праці, його організацію, і як наслідок, – обумовлюють нові небезпеки і ризики і відставання законодавства від цих змін; пріоритетності орієнтації працевлаштування на отримання прибутку (недопущення надмірних збитків), яка вимагає від нього економії задіяних у виробництві ресурсів, що значно підвищує його відповідальність за результати діяльності підприємства.

Серед шести основних недоліків нормативно-правового забезпечення і проблеми управління охороною праці, які стримують реалізацію положень законодавства по застосуванню економічних, ринкових механізмів в цій сфері, в концепції названо і недосконалість методів аналізу поточного стану охорони праці, і прогнозування його можливих змін в майбутньому під впливом змін зовнішнього, по відношенню до охорони праці, середовища і управлінських рішень економічного характеру. Тому на кафедрі охорони праці і БЖД СНУ ім. В. Даля останніми роками здійснюються дослідження, спрямовані на вдосконалення системи охорони праці на підприємстві, в т.ч. і в межах виконання держбюджетної теми ГН-50-07, що включає різні аспекти вдосконалення методології СУОП, в т.ч. аспекти по її адаптації з OHSAS 18001:2007. Зокрема, за наслідками дослідження виробничого травматизму в ХК «Луганськтепловоз» за період 1985-2005 рр. розроблені для галузі машинобудування класифікатори професій, травмуючих чинників, причин, видів травм, а також причинна модель нещасного випадку (рис. 1).

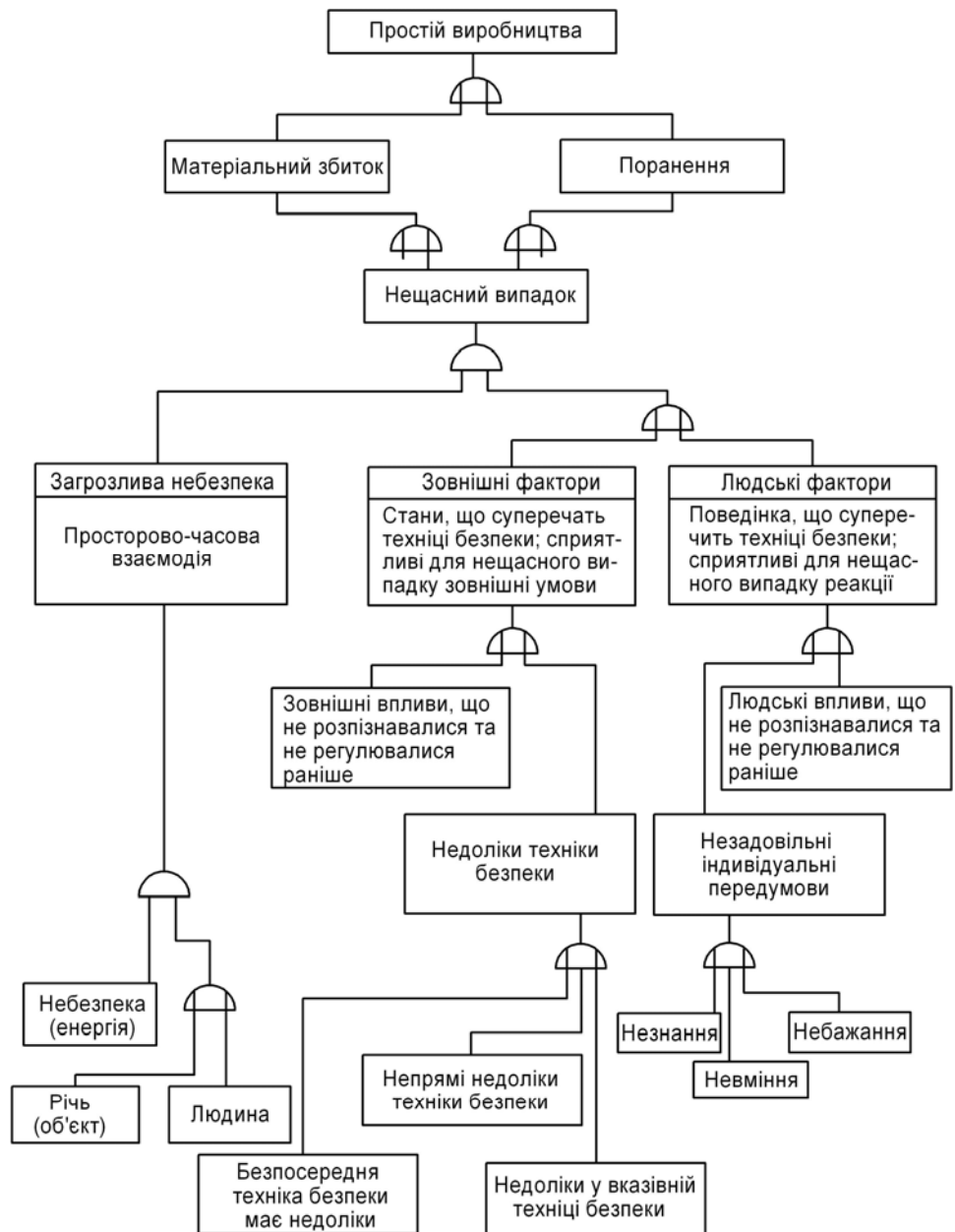


Рис. 1. Причинна модель НВ:  $\cap$  – І;  $\cup$  – АБО

Виходячи з методу і представлення «аналізу дерева помилок», представляється доцільним перейти до «причинної моделі НВ». Причинні зв'язки представляються двома комутаційними символами (див. рис. 1): умова  $\cap$  І робить подальший хід подій залежним від наявності обох вхідних компонентів; умова  $\cup$  АБО припускає виникнення хоч би одного з вхідних чинників.

Умовами для виникнення НВ є наявність загрозової небезпеки з додаванням до цього сприяючих чинників (зовнішніх або викликаних людиною). Загрозова небезпека складається з просторово-часового зближення між небезпекою і людиною (об'єктом) в сфері взаємодії, що означає взаємодію або ж її можливість.

Причинну модель слід застосовувати при аналізі причин НВ дедуктивно, тобто потрібно в зворотному порядку прослідкувати вплив окремих елементів в можливому нещасному випадку, або в тому, що вже мав місце. Модель може застосовуватися також і індуктивно, що означає аналіз окремих елементів та їх значення як точки додатку заходів щодо охорони праці, направлених на необхідність запобігання НВ.

**Висновки.** Результати досліджень переконують в необхідності руйнування у більшості управлінців всіх рівнів стереотипного уявлення про те, що стан охорони праці і соціально-економічного прогресу визначається перш за все не наявністю природних копалин, кількістю здобутих руд і вугілля, виплавленого металу, проведеній електроенергії та іншими ресурсно-ринковими чинниками, а наукою, новими знаннями і технологіями, а також тим, що для будь-якого сучасного підприємства охорона праці повинна бути однією з цілей, тобто підприємство не може ставити більше своєю метою «Виробництво», а мету необхідно називати «Безпечне виробництво».

#### Л і т е р а т у р а

1. Русак О.Н. Справочная книга по охране труда в машиностроении. – Л.: Машиностроение. 1989. – 541 с.
2. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами. Навч. посібник. – К.: Знання. 2007. – 367 с.
3. Міжнародне законодавство про охорону праці. Конвенції та рекомендації МОП. Упорядник Телічко Е.М. У 3-х т. Т. 1. – К.: Основа. 1997. – 672 с.
4. Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. Затв. постановою КМУ №1112 від 25.08.2004. Сб. систематиз. з-ва, вип. 6, июнь 2005г. – С. 173-189.
5. <http://www.iso-cert.ru/?mode=ohsas18000>.
6. Білостоцька В.О., Водяник А.О. Застосування критерію середнього ризику для оцінки структурних зрушень у кількості нещасних випадків // Вісник ННДІОП. – К.: ННДІОП. 2002. – №4. – С. 14-17.
7. Ветров В., Панфёрова И., Хрупачёв А. Структура профессионального риска в производственной сфере России // Охрана труда и социальное страхование. – М., 1999. – №7. – С. 45-47.
8. Соколов Э., Ветров В., Панфёрова И. О теории профессионального риска // Охрана труда и социальное страхование. – М., 2000. – №3. – С. 36-39.
9. Травматизм на виробництві за роками (Інформація Держкомстату України про умови праці та травматизм на виробництві) // Інформ. бюлетень з охорони праці. – К.: ННДІОП, 2002. – №4. – С. 32-34.
10. Состояние промышленной безопасности, охраны труда и надзорной деятельности в Луганской области за 2005 г. Информационно-аналитическая справка. – Луганск: Теруправление Госпромгорнадзоа по Луганской обл. – 2006. – 59 с.
11. Глебова Е.В., Кручинин А.В., Князева А.В., Иванова М.В. Разработка математической модели профессиональной пригодности оператора по добыче нефти // Безопасность жизнедеятельности. – М., 2004. – №9. – С. 22-25.
12. Бондаренко А. По материалам Европейского агентства по безопасности труда // Охрана труда и социальное страхование. – М., 2001. – №11. – С. 39-42.
13. Салаяв І.В., Базидевич Л.М., Муніца Г.І. Аналіз виконання заходів, передбачених Національною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища 2001-2005 роки // Інформ. бюлетень з охорони праці. – К.: ННДІОП, 2004. – №3. – С. 20-21.
14. Репін В.М., Салаяв І.В., Муніца Г.І. Стан виконання заходів Національної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища 2001-2005 роки // Інформ. бюлетень з охорони праці. – К.: ННДІОП, 2005. – №1. – С. 14-17.
15. Водяник А.О., Лесенко Г.Г., Малихін О.В. Про концепцію економічного управління охороною праці та регулювання промислової безпеки // Інформ. бюлетень з охорони праці. – К.: ННДІОП, 2004. – №3. – С. 7-11.

**АНАЛІЗ СПОСОБІВ МОДИФІКАЦІЙ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ НАНОСТРУКТУРУВАННЯ ТА НАСИЧЕННЯ ТВЕРДИМИ МАСТИЛАМИ**

Виконано аналіз сучасних способів поверхневої пластичної обробки наноструктурування, які допускають одночасне насичення поверхні твердими мастилами з метою розробки способів модифікації поверхні металообробного інструменту для підвищення його зносостійкості та надійності. Рис. 5, дж. 7.

Як відомо, експлуатаційні умови роботи різних видів металообробного інструменту характеризуються високими контактними навантаженнями, а також інтенсивними втратами на тертя внаслідок ковзання металу, що оброблюється по поверхні інструменту. Із цього погляду підвищення зносостійкості та надійності металообробного інструменту традиційно досягається за рахунок застосування високоміцних інструментальних матеріалів у сполученні з нанесенням різних зміцнюючих покриттів. Найбільш поширеними видами є металорізальний твердосплавний інструмент та інструмент для обробки металів тиском з високовуглецевих та високолегованих сталей з нанесеними вакуумно-плазмовими покриттями на основі сполук титану (TiN, TiC, TiCN).

Дослідження кінетики та механізмів зношування такого інструменту показують, що, незважаючи на значне збільшення працездатності, його ефективність у багатьох випадках недостатня. Головними причинами руйнування покриття на площадках, що контактують з предметом обробки, є схильність матеріалу інструменту до пружнопластичних деформацій і втрата формостійкості покриття під впливом термомеханічних навантажень [1]. Втрата формостійкості веде до виникнення тріщин у покритті і його руйнування. Процеси руйнування інтенсифікуються також за рахунок контактного тертя.

Ефективним способом збільшення працездатності металообробного інструменту з нанесеними покриттями є різні види поверхневої пластичної обробки інструменту з одночасним внесенням у поверхневий шар покриття твердих мастил [2]. Під час обробки частки твердого мастила входять до відкритих пор та поглиблень, які завжди присутні на поверхні покриття, та забезпечують ефективне зниження коефіцієнту тертя під час роботи протягом всього життєвого циклу інструменту [3]. Завданням цієї статті є аналіз сучасних способів поверхневої пластичної обробки, які допускають одночасне насичення поверхні твердими мастилами.

Обидва завдання можуть бути вирішені на підставі принципів наноструктурування, тобто створення нанокристалічних поверхневих шарів, як базового металу інструменту, так і покриттів. Нанокристалічні матеріали, які структурно характеризуються як складані з ультрадрібних зерен (менш 100 нанометрів хоча б в одному напрямку), а також великим обсягом дефектних границь зерен, привертають в останні роки все більший науковий інтерес [4].

Наноструктурування звичайних грубозернистих металів і сплавів шляхом застосування різних методів інтенсивної пластичної деформації є основною технологією, що дозволяє значно поліпшити властивості матеріалів без зміни хімічного складу. Відомо, що у багатьох випадках руйнування матеріалу починається з його поверхні. Тому більшість видів руйнування, таких як руйнування від втоми, фреттінг-зношування, абразивне зношування і корозія, дуже чутливі до структури й властивостей поверхні. Оптимізація структури поверхні і властивостей глобально поліпшує експлуатаційні характеристики металообробного інструменту [4, 5].

Наноструктурування поверхні процесами пластичної деформації можна проводити різними методами. Серед них найбільш ефективними є методи поверхневої пластичної деформації, а саме обкатування кульками й роликками, дрібоструминна або ультразвукова обробка. У даних технологіях реалізується основний принцип деформації поверхні за рахунок багаторазового локального впливу в точках контакту поверхні з робочими тілами, який є базовим при конструюванні таких технологічних процесів [6].

Слід зазначити, що даний принцип також є базовим при розробці технологій розмелу порошків з різних матеріалів до нанорозмірів, змішування порошків і їхнього механічного легування.

При розмелі різних матеріалів в такий спосіб, вдається одержати принципово нові ефекти структуроутворення часток мікро- і нанопорошків [7]. Із цього погляду застосування поверхневої пластичної деформації для введення твердого мастила в поверхню металообробного інструменту становить як науковий, так і практичний інтерес.

Способи поверхневої пластичної обробки поділяються на дві основні групи, що відрізняються механікою процесу обробки:

- статичні (обробка дисками, кульками, дорнування);
- динамічні (струминна обробка кульками, ротаційна, вібраційна, ультразвукова обробка).

Більшість способів статичної поверхневої пластичної обробки може бути реалізовано у технологічній операції, проведеної безпосередньо відразу ж після обробки різанням або нанесення покриття.

Способи динамічної поверхневої обробки можуть бути реалізовані як ударні зосереджені або ударні розосереджені. Ударний вплив по оброблюваній поверхні здійснюється послідовно або одночасно.

У випадку вібраційної ударної поверхневої обробки обробні елементи у вигляді кульок діють вібраційно на всю поверхню оброблюваного предмета одночасно. Обробку здійснюють у контейнерах зі змушеним вібраційним рухом або в обертовому барабані [6].

Кожний зі способів статичної поверхневої пластичної обробки може бути реалізований за допомогою одноелементного або багатоеlementного інструмента (головки) незалежно від способу впливу статичних сил при обробці. На рис. 1, а, б, наведена кінематика способів статичної поверхневої пластичної обробки циліндричних інструментальних деталей котінням інструменту із пружним притиском.

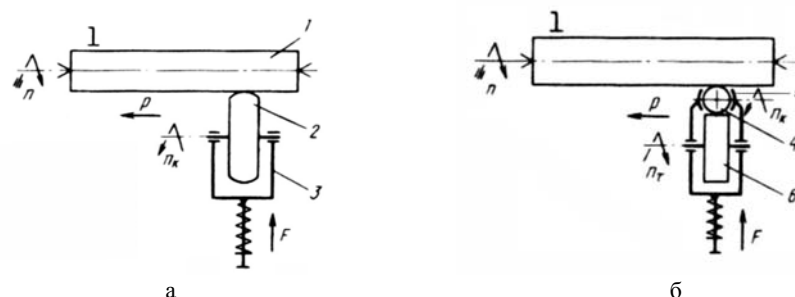


Рис. 1. Схеми основних способів силової поверхневої обробки циліндричних деталей інструментального призначення із пружним притиском: а – дисками; б – кульками  
1 – оброблювана деталь; 2 – обробний диск; 3 – державка; 4 – обробна кулька;  
5 – обойма кульки; 6 – підшипники кочення

Спосіб дорнування належить до групи силових статичних способів, характерною рисою яких є технологічне ковзання, що має місце між обробним елементом і оброблюваною поверхнею. Він застосовується для обробки внутрішніх циліндричних і нециліндричних порожнин деталей інструментального призначення. Різновидами поверхневої пластичної обробки ковзанням є прошивання і вигладжування ковзанням.

Нормальне зусилля, необхідне для поверхневої пластичної обробки, створюється за рахунок розмірної різниці інструмента й оброблюваного отвору. Це зусилля врівноважене в обробній системі, а не передається на деталі верстата, що є перевагою. Під час прошивання з ковзанням (рис. 2) зусилля F, що переміщає, створюється найчастіше повзуном преса.

Інструмент для обробки дорнуванням може мати різну форму і конструкцію. Найчастіше застосовують кульки від шарикопідшипників, а також прошивки-оправки круглого перерізу. Для дорнування малих отворів застосовують спеціальні одноelementні кулькові або циліндричні прошивки (рис. 2).

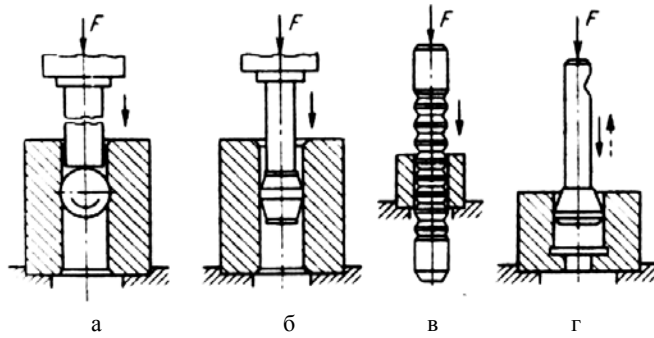


Рис. 2. Схеми обробки отворів деталей інструменту поверхневою пластичною обробкою ковзанням: а – кулькою; б – бочкоподібною прошивкою; в – складовою багатоеlementною прошивкою; г – прошивкою-оправкою для глухих отворів

Поверхневу пластичну обробку торцевих плоских поверхонь деталей інструментального призначення найчастіше роблять за кінематичними схемами, що наведені на рис. 3. У випадку поверхневої обробки плоских поверхонь, що не обертаються, застосовують спеціальні головки і пристрої, які взаємодіють із кінематичною системою вертикальних фрезерних або свердлильних верстатів.

У всіх розглянутих схемах статичної поверхневої пластичної обробки мікрочастки твердого мастила можуть дозовано вноситися в робочу зону пневматичними розпилювачами і ефективно вводитися в пористість і поглиблення поверхневого шару покриття деформуючим інструментом.

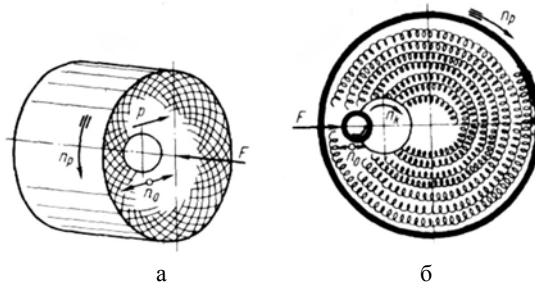


Рис. 3. Схеми поверхневої пластичної обробки торцевих плоских поверхонь деталей інструментального призначення: а – кінематика системи зі слідами, що пересікаються; б – кінематика системи зі спіральним розташуванням слідів

Деталі металообробного інструменту часто мають складну форму із криволінійними поверхнями, поглибленнями, піднутреннями. Для поверхневої пластичної обробки таких деталей застосовуються способи динамічної поверхневої обробки. Характерною рисою, що відрізняє динамічну поверхневу пластичну обробку від статичної, крім змінного зусилля притиску під час обробки, є переривчастий контакт обробних елементів інструмента з поверхнею оброблюваної деталі. Характер цього контакту динамічний, тому що обробні елементи вдарають по деталі й віддають кінетичну енергію, що перетворюється в області поверхневої обробки в енергію пластичної деформації.

У порівнянні зі способами статичної обробки динамічна поверхнева обробка має такі переваги:

- переривчастий контакт обробляючого інструменту з оброблюваною деталлю усуває небажані хвилі матеріалу перед інструментом;
- кращий відвід тепла із зони обробки;
- можливість обробки фасонних поверхонь;
- можливість проведення обробки на універсальних токарських верстатах, а також на дробоструминних установках.

Зосереджена потокова обробка реалізується потоком обробних елементів, що переміщуються з великою швидкістю і діють на малу площу оброблюваної поверхні з відносно великим динамічним впливом. Для обробки великих поверхонь необхідно забезпечити безперервне відносне переміщення потоку і поверхні. Потік обробних елементів створюється стисненим повітрям або механічним шляхом за допомогою ротаційного пристрою.

Ефект пластичної деформації під час потокової поверхневої обробки викликається перетворенням кінетичної енергії потоку кульок, що летять зі швидкістю 50-150 м/с, в енергію деформації. Енергія удару одиначної кульки  $E$  залежить насамперед від її швидкості й маси. Її можна визначити з виразу:

$$E = (\pi\rho/12) \cdot D_K^3 \cdot V^2, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина,  $D_K$  – діаметр кульки,  $V$  – швидкість кульки (потоку кульок).

Силу, удару кульки, що є динамічною силою поверхневої пластичної деформації  $F$ , можна підрахувати за допомогою залежності:

$$F = k \cdot D_K^2 \cdot V^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, що описує пружні властивості матеріалу (для сталі – 0,7),  $D_K$  – діаметр кульки,  $V$  – швидкість кульки.

Швидкість і траєкторія кульки залежать від виду, а також конструкції установки для обробки кульками (рис. 4). У випадку застосування роторних установок (ежекторів) швидкість кульок, що вилітають з сопла, приблизно в 1,3-1,4 раза більше колової швидкості ротора.

Максимальну відносну швидкість кульки  $V_{max}$  (рис. 4, а) у момент її вильоту з роторного дробоструминного апарата можна підрахувати за допомогою залежності:

$$V_{max} = \omega \cdot r_w \cdot \sqrt{(2r_z^2/r_w^2) - 1}, \quad (3)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість ротора,  $r_w$  – внутрішній радіус ротора,  $r_z$  – зовнішній радіус ротора.

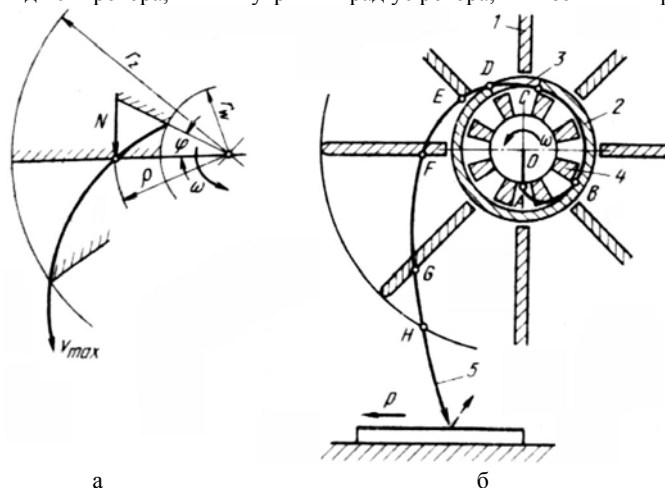


Рис. 4. Кінематика процесу поверхневої пластичної обробки кульками:

а - траєкторія кульки, що переміщається уздовж лопатки дробоструминної установки;

б - схема роботи механічної ротаційної дробоструминної установки:

1 – лопатки; 2 – установна втулка; 3 – отвір для вильоту кульок; 4 – ротор;

5 – траєкторія робочої частки

Різновидом ударної розосередженої пластичної поверхневої обробки є вібраційна обробка кульками. Це динамічний процес поверхневої пластичної обробки розосередженими (вільними)

кульками, які під час обробки багаторазово одночасно вдаряють по всій оброблюваній поверхні. Удари відбуваються в результаті вібраційного руху кульок, викликаного механічним шляхом у контейнерах (рис. 5).

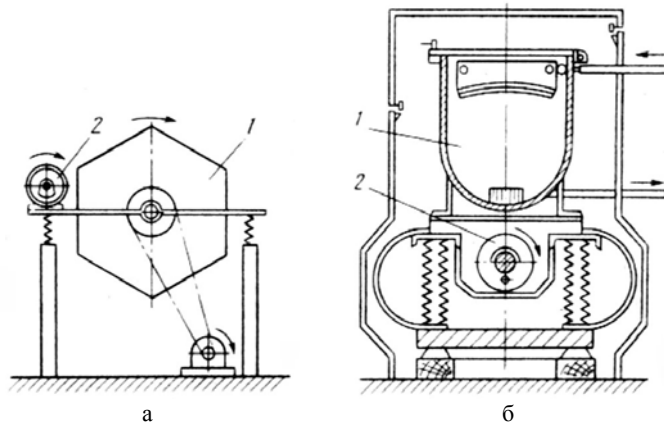


Рис. 5. Розосереджена пластична поверхнева вібраційна обробка кульками:  
а – ротаційно-вібраційна в барабанному контейнері;  
б – вібраційна із плоскими коливаннями

В обробній системі, наведеній на рис. 5 а, сполучаються коливальні рухи, створювані вібратором 2, а також обертовий рух фасонного багатокутного барабана. У системі, представленій на рис. 5, б, контейнер 1 робить лише коливальний рух від вібратора 2.

Кінетична енергія віброуючих кульок перетворюється в момент їхнього контакту з поверхнею оброблюваної деталі в енергію удару, викликаючи ефект динамічної поверхневої пластичної обробки. Обробку розосередженими елементами відповідно до цього різновиду поверхневої пластичної обробки застосовують у технології обробки інструментальних деталей складної форми. Слід зазначити, що динамічний вплив розсіяних кульок на деталь невеликий, тому що їх діаметр не перевищує 0,3-2 мм. У зв'язку з цим збільшується час обробки.

У розглянутих схемах динамічної поверхневої пластичної деформації тверде мастило завантажується разом з кульками в контейнер. У процесі перемішування кульок тонкий шар мастила наноситься на їхню поверхню й при подальшому зіткненні кульок з поверхнею оброблюваної деталі ефективно переноситься в пористу структуру поверхневого шару.

Висновки. 1. На основі аналізу сучасних способів наноструктурування показано, що методи поверхневої пластичної деформації є найбільш придатними для зміцнення поверхневих шарів металообробного інструменту та введення в них твердих мастил.

2. Проведено огляд сучасних способів поверхневої пластичної деформації і введення твердого мастила у поверхневі шари металообробного інструменту.

3. Проаналізовано кінематичні схеми зміцнюючої пластичної обробки поверхневих шарів металообробного інструменту з можливістю одночасного ефективного введення твердих мастил.

#### Література

1. Хокінг М., Васантасри В., Сідки П. Металлические и керамические покрытия: получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с.
2. Хворостухин Л.А., Машков В.Н., Торпачев В.А. и др. Обработка металлопокрытий выглаживанием. – М.: Машиностроение, 1980. – 63 с.
3. Stoyanov A., Weinert H., Leshchynsky V., Kedzia L., Ozwońiark J. Hi-Technology of PM With Nanoparticles. XVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Konstrukcja i technologia wytłoczek i wyprasek": Materiały konferencyjne. – Poznań-Wasowo, 14-16 czerwca 2004.
4. Андриевский Р.А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы. – М.: Издательский центр "Академия" Юрга, 2005. – 192 с.
5. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. М. Поута и др.: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.

6. Пшибыльский В. Технология поверхностной пластической обработки: Пер. с польск. – М.: Металлургия, 1991. – 479 с.
7. Leshchynsky V., Wisniewska-Weinert H., Kedzia Ł., Ozwoniarek J. Precision Cold Forging of Powder Components with Nanoparticles Impregnation. Powder Metallurgy Congress & Exhibition. Prague Congress Centre, Czech Republic. – Proceedings EURO PM 2005, Volume 2, p. 511-516.

УДК 620.18:621.891

**И.А.Шалевская, В.И.Тихонович**

### **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

Исследовано влияние ряда режимов термической обработки на изменение микроструктуры комплексно-легированных хромистых чугунов. Количество мартенсита зависит как от температуры нагрева, так и от скорости охлаждения. Выявлено, что в результате нагрева аустенит обладает различной способностью к распаду, а это оказывает влияние на фазовый состав чугунов, микроструктуру и его свойства. Рис. 3, ист. 4.

Термическая обработка является важнейшей технологической операцией при изготовлении деталей из высокохромистых чугунов. В сочетании с легированием термическая обработка обеспечивает высокие физико-механические свойства за счет формирования оптимальной микроструктуры.

Цель работы заключается в изыскании дополнительных резервов повышения работоспособности путем управления условиями формирования структуры.

Исследовано влияние ряда режимов термической обработки на изменение микроструктуры комплексно-легированных хромистых чугунов [1]. Исследование термической обработки проведено с целью разработки режимов, не требующих высокотемпературных термических печей. Выбор температур нормализации (1050-1100<sup>0</sup>С) основывался на желании получить высокие твердость и вязкость. При этом ожидалось получение высоких характеристик износостойкости. Учитывалось, что твердость не может быть основным критерием, оценивающим износостойкость. Поэтому параллельно оценивалось структурное состояние чугунов как следствие превращений при термической обработке.

Микроструктура опытных сплавов в литом состоянии состоит из избыточных кристаллов аустенита и аустенито-хромистокарбидной эвтектики (рис.1), в составе которой тригональный карбид (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.



Рис. 1. Микроструктура опытного сплава в литом состоянии

Твердость чугунов в литом состоянии 40-42HRC. Микротвердость аустенита 340-420Нц. Строение эвтектики, в которой матрицей является аустенит с внедренными в него хромистыми карбидами, обеспечивает структурное слияние периферийных зон дендритов избыточного аустенита с эвтектическим.

На процессы формирования структуры значительное влияние оказывает температура нагрева. Ее влияние, в первую очередь, сказывается на склонности аустенита к распаду вообще и к

выделению избыточного карбида в частности. В процессе нагрева при температуре 450-500<sup>0</sup>С избыточный аустенит отличается высокой устойчивостью. Так, при 450<sup>0</sup>С только после 20 часов выдержки в сплавах обнаружена некоторая травимость со стороны аустенита на границе аустенит – эвтектический карбид. При нагреве до 500-550<sup>0</sup>С с увеличением содержания хрома в сплавах время до начала превращения возрастает. В сплавах, где содержание хрома было минимальным – 17,7%, начало превращения замечено через 4 часа, тогда как в сплавах, где содержание хрома было около 22%, начало превращения обнаружено через 9-10 часов выдержки.

В начальные периоды превращения около эвтектических карбидов появляется темная каемка с четкой границей. С повышением температуры до 600-650<sup>0</sup>С замечено выделение дисперсных карбидов по границам субзеренной структуры (рис. 2).



Рис. 2. Микроструктура опытного сплава после выдержки при 650<sup>0</sup>С (x800)

При вращении превращенной структуры в объемы избыточного аустенита четкость границы уменьшается.

Объяснить тот факт, что превращение начинается в аустените, примыкающем к эвтектическим карбидам, можно, очевидно, меньшей степенью их легированности. Дальнейший нагрев в температурном интервале 700-900<sup>0</sup>С характеризуется интенсивным выделением карбидной фазы (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> (рис. 3). Изотермические выдержки показали полное превращение аустенита в ферритокарбидную смесь.

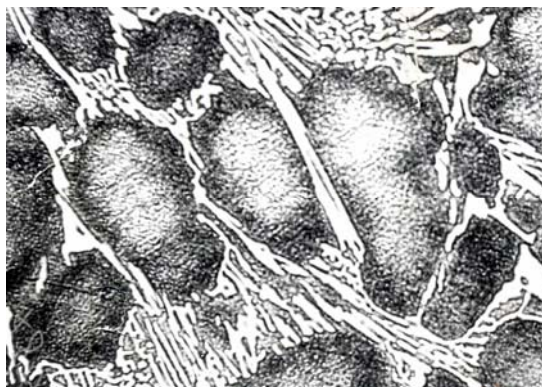


Рис. 3. Микроструктура опытного сплава после выдержки при 780<sup>0</sup>С (x800)

Однако в микроструктуре матрицы некоторых плавок наблюдается повышенная травимость. Судя по тому, что повышенная травимость микроструктуры в исследованиях наблюдалась именно в чугунах с добавками ниобия и титана, можно полагать, что это обусловлено выделением мелкодисперсных карбидов. Повышение температуры приводит к ускорению диффузионных процессов, что и вызывает интенсификацию выделения карбидов (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.

Выделение карбидов приводит к обеднению твердого раствора углеродом и легирующими элементами, благодаря чему мартенситная точка повышается. При последующем охлаждении аустенит частично превращается в мартенсит или другие продукты распада. Травимость значи-

тельно увеличивается. Электронномикроскопическое исследование подтверждает наличие в микроструктуре большого количества дисперсных карбидов. При повышении температуры до 780<sup>0</sup>С процесс выделения карбидов интенсифицируется еще в большей степени. Десятичасовой выдержки оказывается достаточно для практически полного распада аустенита.

Следует остановиться также на следующем. Согласно [2] для сплавов системы (1,8 - 2,3% С и 12 - 20% Сг) существует довольно узкий температурный интервал фазового равновесия "аустенит+феррит+Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub>", нижняя граница которого соответствует 780-790<sup>0</sup>С, а верхняя - 800-820<sup>0</sup>С. Измерение же с помощью микроанализатора содержания хрома в аустените показывает, что аустенит в литых сплавах значительно пресыщен хромом даже по отношению к его высоко-температурному равновесному состоянию. При 1150<sup>0</sup>С - на 3,45% при 18,7%Сг и на 4,75% при 22,4% Сг. Существует также вероятность и того, что в объеме аустенита, прилегающем к эвтектическим хромистым карбидам, после кристаллизации и остывания отливок содержание углерода снизится. Первое, и второе способствует расширению температурного интервала существования трехфазного состояния "аустенит + феррит + карбиды" в сторону более высоких значений температуры.

Можно предположить, что темнотравляющиеся области в структуре исследуемых сплавов после обработки их в интервале температур 800-900<sup>0</sup>С соответствуют указанному трехфазному состоянию [3]. При общей перенасыщенности хромом аустенита пресыщение эвтектического аустенита, очевидно, несколько меньше. Первоочередное интенсивное выделение дисперсных карбидов в межкарбидном и приэвтектическом аустените, по-видимому, связано с несколько меньшим содержанием в них хрома. Отсюда и преимущественные условия для начала фазовой перекристаллизации в этих объемах.

Как показали результаты исследования, нагрев опытных чугунов до температуры 1000-1200<sup>0</sup>С оказывает существенное влияние на склонность аустенита к распаду в процессе охлаждения и последующего отпуска. Наибольшей устойчивостью обладает аустенит чугунов, нагретых до 1200<sup>0</sup>С. Нагрев до различных температур в пределах 1000-1200<sup>0</sup>С приводит аустенит к различному структурному состоянию. В результате аустенит обладает различной способностью к распаду, а это оказывает влияние на фазовый состав чугунов, микроструктуру и его свойства.

При нормализации или закалке от температуры 1200<sup>0</sup>С не видны заметные изменения в структуре по сравнению с литым состоянием. Снижение температуры до 1050-1100<sup>0</sup>С вызывает появление кристаллов карбидной фазы (Сг,Fe)<sub>23</sub>С<sub>6</sub>. Наряду с карбидом (Сг,Fe)<sub>23</sub>С<sub>6</sub> в результате рентгенографического исследования обнаружена малоуглеродистая α- фаза, образование которой происходит по мартенситной кинетике при температурах ниже 300<sup>0</sup>С. Локализация мартенсита в местах выделения карбидной фазы позволяет предположить, что его формирование происходит в тех же объемах аустенита, из которых предварительно выделилась карбидная фаза, так как в исходном аустените содержится не менее 1% углерода.

Очевидно, что при температурах 1100<sup>0</sup>С и ниже появляются микронеоднородности в распределении хрома (расслоение аустенита), то есть возникают зоны, отличающиеся по составу от исходного твердого раствора. Такое предположение возможно, так как именно при этих температурах происходит быстрое выделение карбидной фазы в отличие от изотермического распада аустенита в чугунах, нагретых до 1200<sup>0</sup>С.

Необходимо отметить, что количество мартенсита зависит как от температуры нагрева, так и от скорости охлаждения. При медленном охлаждении в структуре чугуна аустенита остается больше, чем при ускоренном. Большее количество аустенита после нормализации по сравнению с закалкой свидетельствует о процессе стабилизации аустенита.

При термической обработке количество в чугуне карбидов Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> уменьшается в результате происходящего при нагреве под закалку перехода Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> → Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub> → Me<sub>6</sub>C вследствие взаимодействия химических элементов входящих в состав карбидов с матрицей сплава. В результате термической обработки процесс перехода Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> → Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub> в хромистых чугунах с молибденом происходит быстрее, чем в сплавах с вольфрамом. При содержании молибдена более 0,6ат.% карбид Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> полностью трансформируется в Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, который в диапазоне 0,6-1,2ат.% является единственной карбидной фазой [4].

Выводы. 1. Изучены процессы формирования структуры высокохромистых чугунов при различных видах термической обработки (устойчивость аустенита, выделение дисперсных карбидов по границам субзеренной структуры, вращение превращенной структуры в объемы избыточного аустенита).

2. Превращение в аустените начинается с выделения дисперсной карбидной фазы ( $\text{Cr, Fe})_{23}\text{C}_6$ . В начале выдержки выделение карбидной фазы с большей скоростью протекает в эвтектическом и приэвтектическом аустените. Соответственно в этих же местах наблюдается повышенная травимость структуры. С увеличением выдержки повышенная травимость как бы возрастает в центральные объемы дендритов избыточного аустенита.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шалевська І.А. Підвищення гідроабразивної зносостійкості литих деталей з високохромистих чавунів // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 15.16.04. – Ливарне виробництво. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, 2007 р.
2. Бобро Ю.Т., Бобух Ж.С., Тананко И.А. Влияние микроструктуры и фазового состава на износостойкие свойства высокохромистого чугуна // сб. Литые износостойкие материалы. – К.: изд-во Наук. думка, 1989. – С. 25-33.
3. Иванов С.Н., Миняйловский К.Н., Федоров Р.И. Фазовые превращения при термической обработке литых высокохромистых (11,5-22,4%Cr) чугунов // Изд. вузов, Чер. металлургия, 1968. - № 12. – С. 114-119.
4. Тихонович В.И., Горский В.В., Коваленко О.И., Иванова Е.К. Карбидные фазы и распределение хрома в сплаве 130X15, дополнительно легированном ванадием, ниобием, молибденом и вольфрамом // Литые износостойкие материалы. – Киев: Изд-во ИПЛ АН УССР, 1978. – С. 25-31.

УДК 629.4.027

С.А.Волкова, Л.Г.Колодяжная

#### ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ ИЗ СТАЛИ 45ХН

В статье приведены результаты экспериментов по определению оптимального режима ТВЧ закалки, который позволяет получить закаленный слой с одинаковой толщиной по впадине, переходной зоне и средней части зуба. Рис. 9. Табл. 2, ил. 7.

Для обеспечения надежности и длительности работы шестерен при высоких напряжениях особое значение приобретает правильный выбор стали и методов термической обработки. Для шестерен ответственного назначения применяют легированные стали, которые подвергаются упрочнению в поверхностном слое за счет выбора наиболее оптимального режима поверхностной закалки.

Причины разрушений шестерен при эксплуатации рассмотрены в работах [1-3]. В работе [3] установлено, что поломки зубьев в опасном сечении по гантели могут возникать как при небольшом числе циклов нагружения, так и в результате усталостного разрушения.

В работе [4] отмечено, что если глубина диффузионного слоя зуба является чрезмерной, то из-за возникновения высоких остаточных напряжений растяжения в переходной зоне между слоем и сердцевиной разрушения может начаться внутри зуба.

Прочность зубьев и колес определяется в основном их способностью сопротивляться изгибающим напряжениям. Напряжения изгиба, возникающие при работе зубчатых передач, могут достигать  $39,2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  в неответственных зубчатых колесах и  $29,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  в ответственных. Напряжения при перегрузках могут возрастать до значений, превышающих в 2-3 раза рабочие напряжения при изгибе. Сильные перегрузки могут вызывать на зубьях образование трещин и сколов, а в отдельных случаях и их поломку у основания. Особенно часто происходят поломки у основания зубьев, ослабленных подрезами или с неупрочненной поверхностью.

Для изготовления зубчатых колес приводов в транспортном машиностроении широко используют легированные стали с содержанием углерода 0,4—0,5% (40X, 40ХН, 45ХН, 50ХН и др.). Эти стали подвергают закалке ТВЧ. Для ответственных передач, если возможны перегрузки и удары, применяют стали марок 40ХН и 40ХНМА, а еще чаще 40X, которая более доступна, чем первые две марки [5].

В практике более часто применяют поверхностную закалку с индукционным нагревом током высокой частоты (т. в. ч.). Глубина проникновения тока увеличивается с повышением температуры и наиболее сильно возрастает выше точки Кюри (768 °С). Для поверхностной закалки при поверхностном нагреве применяют сравнительно большую удельную мощность (5-20 МВт/м<sup>2</sup>), поэтому время нагрева незначительно (2-20 с) [6].

Для получения слоя толщиной 1,0 мм оптимальная частота тока составляет 50—60 Гц, для слоя 2,0 мм ~15 и для слоя 4,0 мм всего ~4 кГц [7]

Целью настоящей работы является определение оптимальных режимов термической обработки (ТВЧ закалки) зубьев зубчатых колес.

В задачи исследований входило:

1. Изучение структурных изменений в закаленном поверхностном слое в зависимости от мощности индуктора и продолжительности ТВЧ закалки.
2. Исследование изменения твердости закаленного слоя после ТВЧ закалки в зависимости от химического состава стали.

Объектом исследований служили образцы ведомых шестерен из стали 45ХН, прошедших контурную закалку. С целью выявления влияния химического состава на твердость закаленного слоя, ядра зуба и обод был осуществлен контроль количественного содержания компонентов стали. Микроструктуру закаленного поверхностного слоя и структуру сердцевины стали 45ХН выявляли травлением в 5% спиртовом растворе HNO<sub>3</sub> [8]. Исследование микроструктуры осуществляли с помощью оптического микроскопа МИМ-7 при увеличении (x200).

Глубина закаленного слоя определялась на поперечном образце, отобранном на расстоянии 30 мм от торца, и на продольных образцах, взятых со стороны торцов на расстоянии 10 мм от вершины зуба. Глубина и расположение закаленного слоя указаны на рис. 1 и 2.

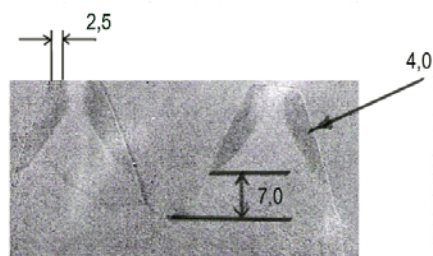


Рис. 1. Расположение закаленного слоя по профилю зуба



Рис. 2. Расположение закаленного слоя на расстоянии 10 мм от вершины зуба:

а – со стороны торца 1 (сторона двигателя); б – со стороны торца 2 (сторона двигателя)

С целью выбора оптимальных режимов ТВЧ закалки были проведены экспериментальные исследования по определению мощности индуктора и продолжительности закалки. Проводились исследования по влиянию различных режимов ТВЧ закалки на структуру закаленного слоя и его твердость.

Одним из требований правильно выбранного режима контурной закалки является одинаковая толщина закаленного слоя как у основания зуба, так и в переходной области. Результаты экспериментальных исследований по влиянию различных режимов ТВЧ закалки на толщину закаленного слоя как у основания, так и в сердцевине закаленного зуба представлены в табл. 1.

Влияние режима контурной закалки на толщину закаленного слоя в основании и средней части зуба

Режим ТВЧ закалки	U, В	I, А	N, кВт	$t_n$ , с	$t_{охл.}$ , с	Толщина закаленного слоя, мм		
						впадина зуба	переходная зона	сердцевина зуба
Ручной	700	270	200	3,8	15	1,7	0,5	3,5
Автомат	700	270	200	3,8	15	2	1,5	3,5
Ручной	750	290	220	3,8	15	2,0	1,5	3,5
Автомат	750	270	220	3,8	15	1,5	2	3
Ручной	775	300	230	3,8	15	3,0	3,0	4,5
Автомат	775	300	230	3,8	15	3,0	3,0	4,5
Ручной	800	310	240	3,8	15	3,5	3,0	5,0
Автомат	800	310	240	3,8	15	3,5	3,0	5,0
Автомат	750	290	200	3	15	2,0	1,5 - 2,0	3,0
	800	310	240	3	15	3,0	3,0	4,0
Автомат	750	290	220	3,5	15	2,5	1,5	3,5
	800	310	240	3,5	15	3,5	2	4,5

Результаты экспериментальных исследований позволяют выявить наиболее оптимальный режим ТВЧ закалки. Из данных табл. 3 видно, что режим контурной закалки:  $U=775В$ ;  $I=300А$ ;  $N=230кВт$  и продолжительность нагрева 3,8 с, время охлаждения 15 с позволяет получить закаленный слой с одинаковой толщиной как во впадине, так и в переходной области. Режимы контурной закалки при мощности индуктора 200 кВт, 220 кВт, а также 240 кВт создают закаленный слой, характеризующийся различной толщиной как во впадине, так в переходной части зуба. Известно, что эксплуатационные свойства шестерен определяются микроструктурой закаленного слоя. С целью изучения влияния ТВЧ закалки на микроструктуру закаленного слоя были проведены исследования по влиянию продолжительности закалки и мощности индуктора на микроструктуру стали 45ХН. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние режимов ТВЧ закалки на структуру закаленного слоя стали 45ХН

Режим ТВЧ закалки				Микроструктура закаленного слоя
$\tau$ , с	U, В	I, А	N, кВт	
3,8	700	270	200	Гроостомартенсит мелкоигльчатого строения
	750	290	220	
	775	300	230	
3,8	800	310	240	Гроостомартенсит среднеигльчатого строения
3,5	750	290	220	Гроостомартенсит мелкоигльчатого строения
	800	310	240	Гроостомартенсит среднеигльчатого строения
3,0	750	290	220	Гроостомартенсит мелкоигльчатого строения
	800	310	240	Гроостомартенсит среднеигльчатого строения

Из данных табл. 2 видно, что с увеличением мощности до 240 кВт при продолжительности обработки 3,0; 3,5 и 3,8 с происходит перегрев и формирование среднеигльчатого мартенсита. Режим ТВЧ закалки мощностью индуктора 200, 220, 230 кВт и продолжительностью 3,0; 3,5 и 3,8 с позволяет получить закаленной слой с троостомартенситной структурой мелкоигльчатого строения. Режим закалки  $U=700 В$ ,  $I=270 А$ ,  $N=200 кВт$  хотя и позволяет получить структуру закаленного слоя трооститномартенситного мелкоигльчатого строения, однако, толщина закаленного слоя во впадине неравномерная. Так в ручном режиме (табл.1) глубина закаленного слоя 0,5-1,7

мм, а в автоматическом режиме она 1,5-2,0 мм, что недостаточно для требуемых эксплуатационных условий.

Уменьшение продолжительности закалки с 3,8 до 3 с приводит к уменьшению содержания мартенсита как в мелкоугольчатой троостомартенситной структуре (режим  $U=750$  В), так в среднеугольчатой троостомартенситной структуре (режим  $U=800$  В). Глубина закаленного слоя при  $U=750$  В составляет 1,5-3,0 мм, а при  $U=800$  В 3,0-3,5 мм.

Наиболее оптимальным следует считать режим контурной закалки  $U=775$ В,  $I=300$ А,  $N=230$  кВт, позволяющий получить закаленный слой с одинаковой толщиной по впадине, переходной зоне и средней части зуба.

Для более детального изучения влияния различных режимов ТВЧ закалки на свойства стали были проведены исследования микроструктуры как закаленного слоя с различных торцов зуба, так и переходной области зуба, а также сердцевины и обода колеса. Результаты исследований представлены на рис. 1-7.

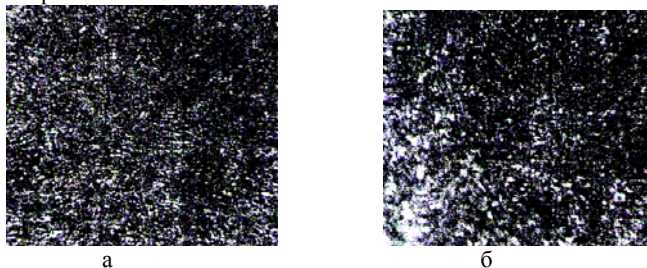


Рис. 1. Структура закаленного слоя: а – со стороны торца 1; б – со стороны торца 2 (x200)

Как видно из рис. 1, структура закаленного слоя со стороны разных торцов различается как объемной долей мартенсита, так и размерами его зерен. Эти различия становятся причиной различной твердости по правой и левой стороне торца зуба.

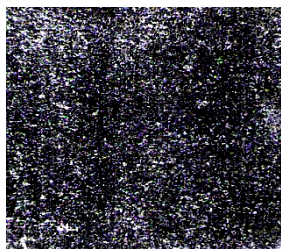


Рис. 2. Структура закаленного слоя по боковой поверхности зуба (x200)

Структура закаленного слоя по боковой поверхности зуба характеризуется троостомартенситной мелкоугольчатой структурой.

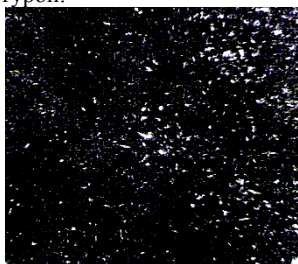


Рис. 3. Структура переходной зоны зуба (x200)

Структура переходной зоны зуба характеризуется наличием троостита и неравномерным распределением феррита (светлые зерна).

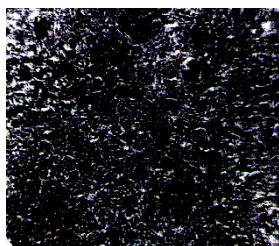


Рис. 4. Структура сердцевины (x200)

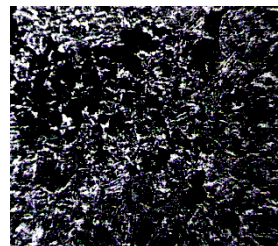


Рис. 5. Перлитные участки в структуре (x200)

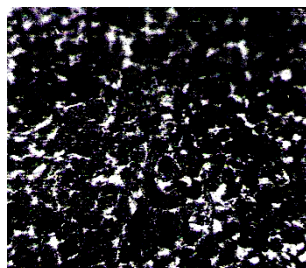


Рис. 6. Структура металла по ободу колеса (x200)

Как видно из рис. 4 и 5, структура сердцевины характеризуется неравномерным распределением феррита и перлита, особенно это хорошо видно на рис. 5. По ободу колеса рис. 6 феррит располагается по границам перлита. Характер распределения феррита и перлита неравномерный, что хорошо видно из рис. 7.



Рис. 7. Неравномерная структура колеса с перлитными полосами (x100)

С целью установления влияния температуры отпуска на твердость закаленного слоя обод зубчатого колеса был разрезан на 8 частей. Куски от обода подвергались отпуску по режимам, представленным на рис. 8 и 9.

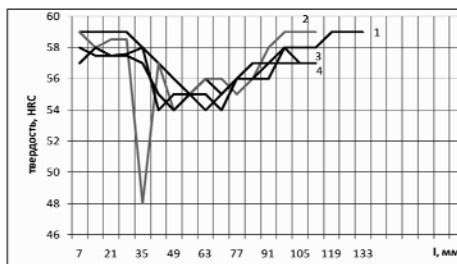


Рис. 8. Зависимость твердости закаленного слоя обода зубчатого колеса от режима отпуска : 1 – без отпуска после ТВЧ закалки; 2 – температура отпуска 140<sup>0</sup>С; 3 – температура отпуска 160<sup>0</sup>С; 4 – температура отпуска 200<sup>0</sup>С

Сталь 45X подвергается низкому отпуску в температурном интервале 140- 200<sup>0</sup> С. Это сопровождается снижением твердости во впадине и средней части зуба по сравнению с его верхней областью на 3-5 единиц. При температуре отпуска 140<sup>0</sup>С (рис. 8, кривая 2) отмечается значительное различие твердости по правой и левой стороне обода. При температуре отпуска 160<sup>0</sup> С твердость со стороны торцов на 2-3 единицы выше, чем в средней части зуба.

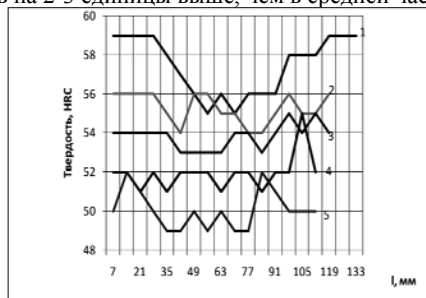


Рис. 9. Зависимость твердости закаленного слоя обода зубчатого колеса от различных режимов отпуска: 1 – без отпуска ТВЧ закалка; 2 – температура отпуска 220<sup>0</sup>С; 3 - температура отпуска 240<sup>0</sup>С; 4 - температура отпуска 260<sup>0</sup>С; 5 - температура отпуска 280<sup>0</sup>С

Из данных рис. 9 видно, что при температуре отпуска 240<sup>0</sup> С происходит заметное выравнивание твердости по всей длине зуба до 53-54 HRC. При температуре отпуска 260<sup>0</sup> С твердость уменьшается до значений 51-52 HRC.

Отпуск при температуре 280<sup>0</sup> С создает твердость, в основном равную 49-50 HRC.

Как видно из рис. 8 и 9, наибольшее совпадение хода кривой изменения твердости (кривая 1-ТВЧ закалка без отпуска) и кривых 2 и 3 наблюдается для режима отпуска 140-160<sup>0</sup> С. Следовательно, в результате ТВЧ закалки на одной стороне зуба происходит процесс закалки, а на второй его стороне реализуется процесс самоотпуска в интервале температур 140-160<sup>0</sup> С, что обуславливает значительное различие в структуре и свойствах (неравномерность твердости по правой и левой стороне зуба).

**Выводы. 1.** Установлено, что наиболее оптимальным следует считать режим контурной закалки U=775В, I=300А, N=230 кВт, позволяющий получить закаленный слой с одинаковой толщиной по впадине, переходной зоне и средней части зуба.

2. Показано, что режимы контурной закалки при мощности 200 кВт, 220 кВт, а также 240 кВт создают закаленный слой, характеризующийся различной толщиной как во впадине, так в переходной части зуба. С увеличением мощности до 240 кВт при продолжительности обработки 3,0; 3,5 и 3,8 с происходит перегрев и формирование среднеигльчатого мартенсита. Режим ТВЧ закалки мощностью индуктора 200, 220, 230 кВт и продолжительности 3,0; 3,5 и 3,8 с позволяет получить закаленный слой с троостомартенситной структурой мелкоигльчатого строения.

3. Установлено, что в процессе контурной закалки реализуются два режима термической обработки: на одной стороне зуба осуществляется закалка, а на другой закалка и низкотемпературный (140-160<sup>0</sup> С) отпуск. Различие в режимах термической обработки приводит к изменениям в структуре и твердости сторон зубьев.

#### Литература

1. Тепловоз 2ТЭ116/ С.П. Филонов, А.И. Гибалов, Е.А. Никитин и др. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1996. - 334 с.
2. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак и др.; Под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
3. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. М., Машиностроение, 1972. - 368 с.
4. Райцес В.Б. Термическая обработка. М.: Машиностроение, 1980. – 208 с.
5. Технология термической обработки стали / Под ред. Бернштейна М.Л. – М.: Металлургия, 1981. – 608 с.
6. Николаев С.П., Коротин С.Г. Термическая обработка ТВЧ. М.: МАШГИЗ, 1962 – 548 с.
7. Головин Г.Ф., Замятин М.М. Высокочастотная термическая обработка. М. – Л., Машгиз, 1959. – 250 с.

Д.А.Гедрович, Н.А.Касьянов, А.И.Гедрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ, СВЯЗАННЫХ СО СВАРКОЙ**

Исследована необходимость учета в показателях, характеризующих условия труда сварщиков при аттестации их рабочих мест, классификаторов источников и причин травмирующих факторов. Табл. 1, ил. 4.

**Анализ состояния вопроса.** Профессия сварщика по-прежнему остается одной из наиболее профессионально опасных. По данным Госкомстата Украины, каждый четвертый сварщик работает в условиях, не отвечающих санитарным нормам и правилам. На оплату льгот и компенсаций за работу во вредных условиях работникам ежегодно выплачивается свыше 900 млн грн [1].

Кроме того, в соответствии с законодательством и нормативными актами в Украине с 1992 г. начисления льготного стажа и назначение пенсий по спискам 1 и 2 ведется с учетом результатов аттестации рабочих мест по условиям труда [2]. Согласно закону Украины «Об охране рабочих мест» [3] льготы и компенсации за вредные условия труда возможны по результатам аттестации рабочих мест, которая проводится в сроки, предусмотренные коллективным договором, но не реже одного раза в 5 лет. Для этих целей создана государственная экспертиза условий труда, которая проводит санитарно-гигиенические исследования и готовит соответствующее заключение, согласно Положению о государственной экспертизе условий труда [4].

Т. е. на законодательном уровне все предусмотрено для проведения аттестации рабочих мест по условиям труда для обеспечения государственной политики в сфере охраны труда – права граждан на безопасные и здоровые условия труда. Применительно к сварочному производству охрана труда является приоритетным направлением исследований. К сожалению, в большинстве случаев на сварщика оказывается комбинированное воздействие вредных производственных факторов: физических (излучение дуги, шум, пыль, недостаточная освещенность и т.д.); химических (сварочные аэрозоли, газы); психофизиологических (физические перегрузки, статическая поза, перенапряжение анализаторов). Такое комплексное воздействие способствует развитию профессиональной и производственно обусловленной патологии [1].

**Постановка задачи.** При получении неразъемного сварного соединения процесс сварки может осуществляться штучными электродами вручную (РДС) с применением полуавтоматов в среде защитных газов (УП, НП), сварочных тракторов и головок в защитных газах и под флюсом (АФ) с различными условиями формирования корня шва. В настоящем исследовании рассматриваются проблемы охраны труда, которые имеют место при механизированной сварке протяженных швов кузова вагона и крыши в среде защитных газов (аргон, углекислота) по сравнению с ручной сваркой мелких узлов (швы нахлесточные протяженные до 11000 мм) в условиях ХК «Лугансктепловоз».

**Материалы и результаты исследования.** В процессе сварки листов из нержавеющей стали при формировании боковой стенки и крыши вагона сварочное оборудование и оператор-сварщик перемещаются по длине сварочного шва.

При такой организации работ травматизм, связанный с процессами сварки, снижается, но вырос травматизм на операциях по манипулированию заготовками и сварными узлами. Анализ травматизма при изготовлении пяти секций электро- и дизельэлектровозов позволил выявить то, что его можно квалифицировать по операциям, осуществляемым с узлами вагонов (табл. 1).

При этом установлены следующие причины травматизма и травмирующие факторы: движущиеся аппараты; нерациональная конструкция машины; большие размеры и масса заготовок и изделий; возможность попадания оператора в опасную зону машины; отсутствие ограждений опасных зон сварочного поста; неполадки в системе блокировки работы сварочного аппарата; затруднен или опасен доступ к катушкам с проволокой и их замена; повреждение кабелей и шлангов (термические или механические); конструкция сварочной головки затрудняет обслуживание, ремонт и замену мундштуков.

В целом при оценке условий в зоне сварочного поста выявлены такие наиболее частые причины травматизма: освещение не удовлетворяет условиям безопасной работы и требованиям нормативных документов; для применения прихваточной технологии при необходимости дополнительной подварки, на протяженном сварочном посту не предусмотрено для этих целей освеще-

ние, отсос дыма и общеобменной вентиляции, чему препятствуют объективные и субъективные факторы; чрезмерный уровень шума, связанный с системами передвижения, манипуляции и транспортировки материала; на сварочном посту отсутствует оборудование для создания нормальных параметров микроклимата (особенно в холодное время года); органы управления, пульт управления процессом сварки размещены вне оптимальной зоны доступа оператора.

Таблица 1

**Анализ травматизма при изготовлении вагонов дизель - и электропоездов**

Операции	Травматизм, %	Примечание
Подготовительные операции	23,25	
Укладка деталей в машину	9,30	
Сборка конструкций из отдельных листов	14,95	
Сварка, подготовка и управление э/о	12,95	
Освобождение стенда	11,63	
Обработка сварного соединения	6,97	Удаление шлака, брызг
Контроль качества, обслуживание рабочего места после сварки	20,95	Внешний осмотр, обмер швов
Итого	100	

Аттестация рабочих мест по условиям труда включает гигиеническую оценку условий и характер труда, оценку травмобезопасности рабочих мест и учет обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты. При аттестации рабочих мест заполняется карта условий труда, в которой указанные замечания не находят своего отражения. Кроме того, в карте отмечается наличие химических веществ и пыли. В процессе сварки выделяется сварочный аэрозоль (СА), который состоит из твердой составляющей СА (ТССА), содержащей соединения марганца, хрома, никеля, меди, железа, кремния и многие другие, что определяется составом расплавленных материалов, а также газообразной составляющей СА (ГССА), в составе которой в зависимости от применяемого способа сварки и марки сварочного материала могут быть фтористый водород (HF), фтористый кремний (SiF<sub>4</sub>), монооксид углерода (CO), оксид азота (NO, NO<sub>2</sub>), озон (O<sub>3</sub>) и другие составляющие [1].

В этой связи правомерными являются вопросы об обоснованности отношения ТССА к пыли и ТССА к химическим веществам при заполнении карты условий труда. При оценке травмобезопасности рабочих мест необходимо учитывать: наличие средств защиты работников от воздействия движущихся частей оборудования; устройства ограждений трубопроводов, пневмосистем, предохранительных клапанов, кабелей; исключение опасности, вызванной разбрызгиванием материалов и веществ в рабочей зоне, падением или выбрасыванием предметов; наличие и соответствие нормативным требованиям сигнальной окраски и сигналов безопасности; наличие и ограждение фиксаторов, блокировок, элементов, обеспечивающих прочность и жесткость герметизирующих элементов; наличие на пульте управления сигнализаторов нарушения нормального функционирования производственного оборудования, а также средства аварийной остановки; степень защиты электрооборудования, электропроводки, заземления от механических воздействий, грызунов и насекомых, возможности попадания на них растворителей.

Оценка фактического состояния условий труда состоит из оценок: по степени вредности и опасности; по степени травмобезопасности.

При отнесении условий труда к 3 вредному классу рабочее место признается условно аттестованным с указанием соответствующего класса и степени вредности.

В карте условий труда есть две позиции, которые частично отвечают на затронутые вопросы, так по пункту 2 этой карты при наличии пыли преимущественно фиброгенного действия, в критериях для экспресс-оценки состояния условий труда, указывается, что воздух загрязняется пылью преимущественно фиброгенного действия. Но что делать с другими видами пыли при аттестации, ведь они существуют и оказывают негативное воздействие на человеческий организм. Пункты 12, 13 этой же карты не учитывают многообразие условий труда в сварочном производстве (по рабочей позе, по размерам рабочего места, связанного с изготовлением изделий и т.д.)

**Вывод.** Выполненные исследования позволили установить необходимость введения в показатели, характеризующие условия труда сварщиков, классификаторов источников и причин

травмирующих факторов, которые позволили бы системно в отчетности по охране труда учитывать технологию и специфику выполняемых сварочных работ и степень негативного влияния на человека.

#### Л и т е р а т у р а

1. Левченко О.Г., Павлик А.О. Проблемы охраны труда сварщиков //Автоматическая сварка, К.: 2006. - №12. - С. 40-43.
2. Закон Украины «О пенсионном обеспечении» (Ведомости Верховного Совета (ВВС). - 1992. - N 3. С. 10.
3. Закон Украины «Об охране труда» в редакции Закона Украины от 21.11.2002 г. № 229-IV, с изменениями и дополнениями, внесенными Законами Украины от 25.11.2003 г. №1331-IV, от 27.11.2003 г. №1344-IV, от 23.12.2004 г. №2285-IV, от 25.03.2005 г. №2504- IV // Сб. систематиз. законодательства «Охрана труда». – Вып. 6, июнь 2005 г. – С. 8-20.
4. ДНАОП 0.05-4.01-90. Положення про державну експертизу умов праці. Постанова № 357 від 01.12.1990 Ради Міністрів УРСР із змінами: Зміна 1: Постанова № 567 від 24.07.1993 Кабінету Міністрів України; Зміна 2: Постанова № 497 від 11.04.2002 Кабінету Міністрів України.

УДК 656.27

**Н.Б.Чернецька, О.В.Соломіна**

#### **УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОЇЗДОБУДОВИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА ЗАСТОСУВАННЯМ ВАРІАННОЇ ТЕХНОЛОГІЇ**

У статті описане головне завдання залізничного транспорту та варіантна технологія як удосконалення поїздобудови. Проведен аналіз запропонованої моделі, який показав, що на витрати найбільше впливають прості вагонів та маса потягу при виконанні маневрової та поїздної роботи. Рис. 2, дж. 5.

У транспортній системі України провідне місце посідають залізниці. Залізничний транспорт забезпечує переміщення народногосподарських вантажів та перевезення багатомільйонного населення країни. На відміну від інших видів транспорту перевезення на залізницях відбуваються в будь-який час незалежно від кліматичних і погодних умов.

Головне завдання транспорту полягає в повному і своєчасному задоволенні потреб народного господарства і населення в перевезеннях, підвищенні ефективності і якості роботи всіх ланок транспортної системи.

На залізничному транспорті, специфікою якого є безперервне керівництво процесом перевезення, особлива увага відводиться управлінню. Транспортний процес потребує чіткої взаємодії всіх служб, підприємств та організацій. Одним із основних засобів вирішення цієї проблеми є широке впровадження комплексних автоматизованих систем управління (варіантною технології), що базуються на досягненнях кібернетики як науки про управління, економіко - математичних методах та сучасних засобах збору та обробки інформації.

Організація роботи з документами є важливою складовою процесів управління та прийняття управлінських рішень, що суттєво впливає на оперативність і якість управління.

Процес прийняття управлінського рішення складається з:

- отримання інформації;
- її переробки;
- аналізу, підготовки та прийняття рішення.

Всі ці етапи пов'язані з документальним забезпеченням управління.

Надійність і якість управління залежать від якості і достовірності, оперативності прийому – передачі інформації, правильної постановки довідково-інформаційної служби, збереження та використання документів.

Основними завданнями документального забезпечення управління є:

скорочення інформаційних потоків до оптимального мінімуму;

забезпечення спрощення та здешевлення процесів збору, обробки і передачі інформації завдяки найновішим технологіям автоматизації цих процесів.

Для станції життєво важливо постійно удосконалювати документаційне забезпечення управління, оскільки це прямо впливає на якість управлінських рішень.

Наразі нерівномірність надходження місцевих вагонів для вузла становить порядку 1,98, що у порівнянні з 2005 році зросло на 40%. Це свідчить про необхідність застосування гнучкої варіантної технології при оперативному керуванні роботою станцій.

Варіантна технологія - це розробка систем моделей, що дозволяє з урахуванням конкуренції класів техніки та темпів інфляції витрат вирішувати такі завдання прогнозування та перспективного планування варіантного типу, як визначення витрат, необхідних для досягнення заданого рівня параметрів до визначеного моменту часу, варіантів рівня параметрів класу, що досягається до визначеного моменту у майбутньому при обмеженні суми витрат й т. п.

Для впровадження варіантної технології необхідно враховувати кількість інформації, що надходить, обробляється на станціях та передається з них за допомогою станційного файлового сервера.

Для реалізації варіантної технології запропоновано модель стохастичного програмування з цільовою функцією, що в свою чергу є функціоналом. Розрахунки цільової функції велися за відповідних обмежень: за кількістю вагонів, локомотивів, місткістю фронту, масою поїзда, за умовою рентабельності перевезень, та сумарною імовірністю.

Отримані результати розрахунку цільової функції дозволяють говорити про створення варіантних технологій поїздутворення у залізничному вузлі з урахуванням як структури та розміру вагонопотоку, так і типу та значущості клієнтів.

Розраховані обсяги інформації, що надходять до станційного файлового сервера при інформаційних обмінах між АРМ оперативних працівників станції, вузла та диспетчерського центру при впровадженні варіантної технології коливаються в межах [548080 ÷ 851480] символів.

При аналізі чинників, що впливають на експлуатаційну роботу, було визначено основні, що мають найбільше значення, серед них витрати: на простой вагонів на сортувальних та вантажних станціях, на маневрову роботу, на поїзні переміщення та на інформаційне забезпечення.

Аналіз запропонованої моделі показав, що на витрати найбільше впливають простой вагонів та маса потягу при виконанні маневрової та поїзної роботи.

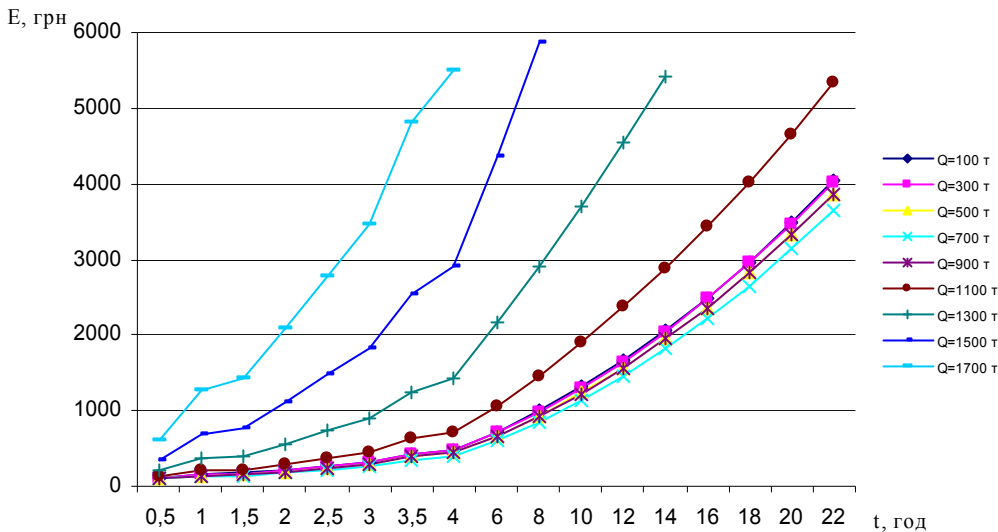


Рис. 1. Номограми залежності витрат на організацію передаточного руху від простою вагонів під накопиченням

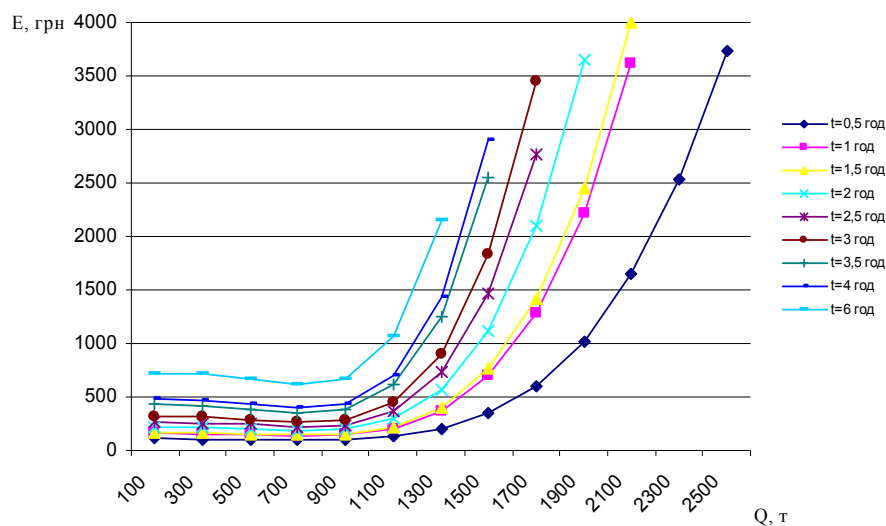


Рис. 2.

Номограми залежності витрат на організацію передаточного руху від маси потягу

Аналіз номограм доводить, що найменші витрати досягаються при відправленні потягу масою 900 – 1000 т (рис. 1) та простою вагонів під накопиченням до 2 годин (рис. 2). Аналіз відправлення потягів із сортувальних станцій показав, що середня маса в поїздах, які обертаються в межах вузла, становить 1042 т, а середній простій під накопиченням – 3,6 год.

Таким чином, реалізація варіантної технології потребує впровадження додаткових АРМ оперативних працівників залізничних вузлів як на сортувальних, так і на вантажних та проміжних станціях.

**Висновки. 1.** Сьогодні нерівномірність надходження місцевих вагонів для вузла становить порядку 1,98, що у порівнянні з 2005р. зросла на 40%. Це свідчить про необхідність застосування гнучкої варіантної технології при оперативному керуванні роботою станцій.

2. Розрахунки інформаційної ентропії (коливання становлять від 0,3 до 0,9) дозволяють зробити висновок, що при невеликих значеннях (до 0,45) для досягнення достатньої глибини планування оперативної роботи на сортувальній станції треба розширити період планування з 2 до 12 ÷ 18 годин.

3. Розраховані обсяги інформації, що надходять до станційного файлового сервера при інформаційних обмінах між АРМ оперативних працівників станції, вузла та диспетчерського центру при впровадженні варіантної технології, коливаються в межах [548080 ÷ 851480] символів.

4. Реалізація варіантної технології потребує впровадження додаткових АРМ оперативних працівників залізничних вузлів як на сортувальних, так і на вантажних та проміжних станціях.

#### Література

1. Буянов В.А., Тишкин Е.М., Шаров В.А. На пути к информационным технологиям перевозочного процесса // Вестник ВНИИЖТ, – 1998. - 120 с.
2. Ковалев В.И., Осьминин А.Т. Совершенствовать организацию и управление вагонопотоками // Железнодорожный транспорт, – 2002. – 165 с.
3. Бабушкин Г.Ф., Завгородний И.П. Организация перевозок и коммерческая работа на промышленном железнодорожном транспорте. - К. : Вища шк., 1981. - 247 с.
4. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта: Межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Д.: ДИИТ, 1985.-126 с.
5. Аветикян М.А. Высокие технологии перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт, – 2001. - 135 с.

И.И.Сидоренко, С.С.Гутыря, П.Л.Носко

**СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПАССИВНЫХ  
ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

Представлена методика и результаты построения скелетных кривых, дающих информацию о свободных колебаниях виброизолирующих устройств с механической обратной связью. Показано, что связь между амплитудами и частотами колебаний устройства зависит от полиномиальной характеристики восстанавливающей упругой силы. Наличие на характеристике участков соответствующих квазиулевым жесткости устройства определяет диапазоны квазиулевых и комбинированных частот свободных колебаний. Рис. 5, ист. 7.

Интенсификация технологических процессов приводит к расширению спектра вибрационных полей, в которых работают современные машинные агрегаты. В ряде случаев колебания используются в технологических процессах, например, в машинах виброударного и вибрационного действия. Наличие колебаний в машинном агрегате всегда сопряжено с негативными проявлениями в виде дополнительных динамических нагрузок на все звенья и кинематические пары, а также повышает вероятность резонанса. С целью минимизации указанных негативных явлений в состав машинного агрегата включают демпфирующие и виброизолирующие устройства.

В современной технике разработаны и применяются различные типы пассивных виброизолирующих устройств (ПВУ), обладающих линейными упругими характеристиками, применение которых, по мере расширения спектра вибрационных полей, становится неэффективным, а в ряде случаев сами устройства становятся дестабилизирующим элементом механической системы, определяющим ее резонанс.

Исследования в области нелинейной механики колебаний показали, что нелинейность упругих характеристик машинного агрегата существенно изменяет характер происходящих колебательных процессов и в ряде случаев обеспечивает расширение частотного диапазона эксплуатационных нагрузок [1 – 3]. Поэтому анализ свойств перспективных конструкций нелинейных ПВУ, а также определение их влияния на колебательные процессы в машинном агрегате являются актуальными.

Целью исследований является изучение свободных колебаний механических систем, в структуру которых входят нелинейные ПВУ с механической обратной связью для установления взаимосвязи между амплитудами и частотами колебательного процесса, отражающей основные виброизоляционные свойства ПВУ и дальнейшего анализа вынужденных колебаний в таких системах.

Дифференциальное уравнение движения для одномассовой системы имеет вид

$$m\ddot{x} + F(x) + b\dot{x} = 0, \quad (1)$$

где  $m$  – обобщенная масса;  $F(x)$  – восстанавливающая упругая сила;  $b$  – коэффициент диссипации;  $x$  – упругое перемещение;  $\dot{x}$  и  $\ddot{x}$  – соответствующие производные упругого перемещения по времени  $t$ .

Для линейной ПВУ функция восстанавливающей упругой силы (ВУС) имеет вид

$$F(x) = c_L x, \quad (2)$$

где  $c_L$  – коэффициент приведенной жесткости линейной системы.

При исследовании динамических характеристик нелинейных систем обычно полагают, что ВУС зависит только от первой и третьей степени упругого перемещения и может быть описана кубической функцией [3]

$$F(x) = c_{NL} (x + \mu x^3), \quad (3)$$

где  $c_{NL}$  – коэффициент приведенной жесткости нелинейной системы;  $\mu$  – параметр, определяющий вид нелинейной характеристики.

ПВУ, для которого ВУС может быть представлена в виде функции (3), соответствует системе Дюффинговского типа, имеющей «жесткую» нелинейность при условии  $\mu > 1$  и «мягкую» нелинейность при  $\mu < 1$  [1].

Установим значения постоянных коэффициентов  $c_L, c_{NL}$  таким образом, чтобы значения  $F(x)$  на границе расчетного диапазона перемещений  $x(t)$  были равными (рис.1).

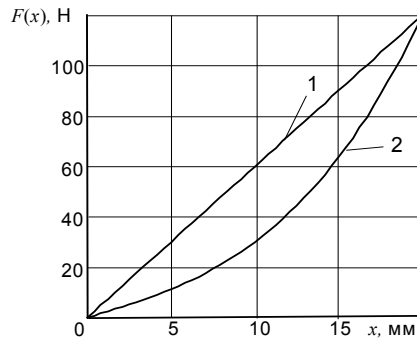


Рис.1. Графики характеристик ВУС:  
 кривая 1 – для линейной системы ( $c_L = 6 \text{ Н/мм}$ );  
 кривая 2 – для системы Дюффинговского типа  
 при «жесткой» нелинейности ( $c_{LN} = 2 \text{ Н/мм}$ ,  $\mu = 0,005$ )

Выполним численные решения уравнения (1) для двух характеристик  $F(x)$ , приняв в качестве кинематического возмущения начальное отклонение системы от положения упругого равновесия. Результаты решений уравнения (1) при  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $b = 0,5 \text{ (Н} \cdot \text{с}^2)/\text{мм}$  и начальных условиях  $x(0) = 0,2 \text{ мм}$ ,  $\dot{x}(0) = 0$  указывают на существенные отличия колебательных процессов в линейной и нелинейной системах (рис.2). Для линейной системы (рис.2,а) период колебаний не зависит от величины амплитуды ( $T_1 = T_2 = T_3$ ) и определяется постоянной частотой собственных колебаний  $p$

$$T = \frac{1}{p} = \frac{1}{\sqrt{\frac{m}{c_L}}}, \quad c_L = \frac{dF(x)}{dx} = \text{const.} \quad (4)$$

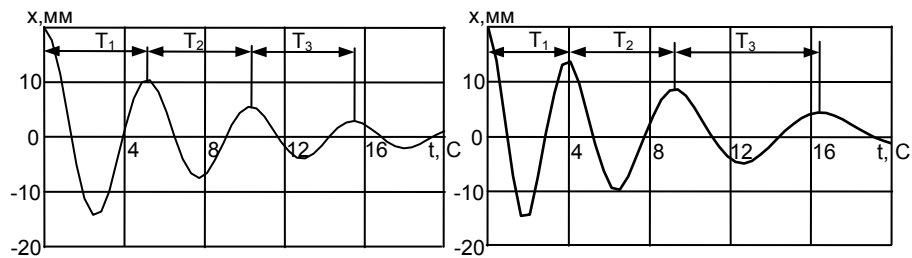


Рис. 2. Графики колебательного процесса при кинематическом возбуждении:  
 а – для линейной системы; б – для системы Дюффинговского типа с «жесткой»  
 нелинейностью

В системе Дюффинговского типа, как и в любой другой нелинейной системе, коэффициент приведенной жесткости является функцией амплитуды, поскольку  $c_{NL}(x) = \frac{dF(x)}{dx} \neq \text{const}$ , что и определяет переменное значение частоты свободных колебаний  $\rho$ . Следовательно, колебательный процесс в нелинейной системе (рис. 2, б) имеет переменный период ( $T_1 \neq T_2 \neq T_3$ ), значение которого зависит от величины амплитуды.

Тенденция интенсификации и оптимизации технологических процессов обуславливает создание ПВУ, реализующих определенные нелинейные характеристики ВУС. Такие характеристики являются результатом многокритериального синтеза и обеспечивают оптимальные условия работы механической системы, включающей ПВУ. Задача выявления взаимосвязи между амплитудами и частотами колебаний в таких механических системах усложняется тем, что характеристики ВУС для ПВУ описываются полиномами наилучшего приближения, порядок которых, как правило, превышает третий. Например, разработанная ПВУ с механической обратной связью [4], которая в зависимости от своих конструктивных параметров позволяет реализовывать нелинейные характеристики ВУС не только для систем Дюффинговского типа с различными видами нелинейности (рис. 3, а), но и более сложные функции характеристик (рис. 3, б).

К таким функциям относятся характеристики ВУС с одним участком квазиулевой жесткости (участок АВ на кривой 1) или несколькими такими участками (участки CD и KL на кривой 2). Представленные характеристики ВУС могут быть описаны интерполяционным полиномом наилучшего приближения

$$F(x) = \sum_{i=1}^N a_i x^i, \quad (5)$$

где  $a_i$  – коэффициенты при элементах полинома  $i$ -й степени, определяют методом наименьших квадратов;  $N$  – наивысшая достаточная степень полинома.

Взаимосвязь между амплитудой и частотой колебаний нелинейной системы наиболее эффективно определяется построением скелетной кривой [5]. При этом полагают, что рассматриваемая виброизолирующая система консервативна и ее ВУС определяется зависимостью (5).

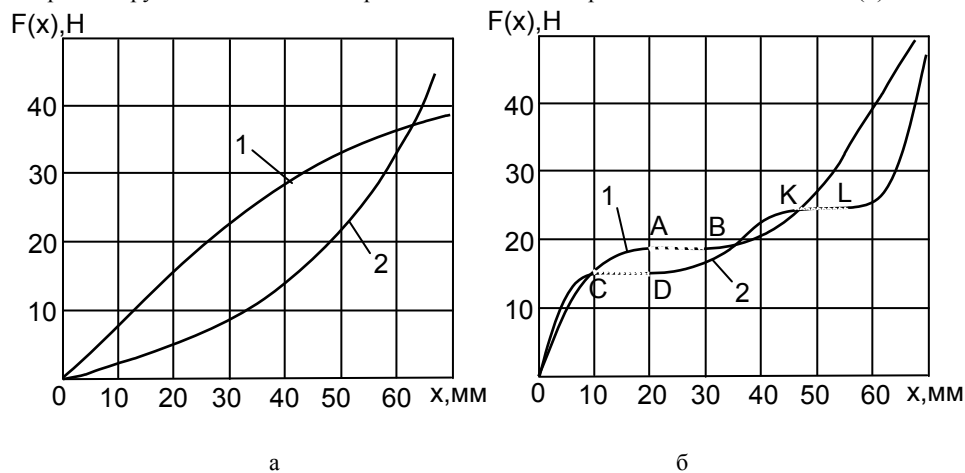


Рис.3. Характеристики ВУС для ПВУ с механической обратной связью: а – Дюффинговского типа (кривая 1 соответствует параметрам  $c_{NL} = 0,35 \text{ Н/мм}$ ,  $\mu = 0,0002$ ; 2 –  $c_{NL} = 0,7 \text{ Н/мм}$ ,  $\mu = -0,0005$ ); б – с участками квазиулевой жесткости

Уравнение свободных колебаний в обобщенных координатах имеет вид

$$\ddot{x} + \sum_{i=1}^N a'_i x^i = 0, \quad (6)$$

где  $a'_i = a_i / m$  – отнесенные к массе коэффициенты при элементах полинома  $i$ -й степени.

Обозначим через  $x_0$  наибольшее отклонение изолируемого объекта вниз от положения статического равновесия. Так как в начальный момент времени, при котором  $x = x_0$ , скорость перемещения  $\dot{x} = 0$ , то первый интеграл уравнения (6) имеет вид

$$\dot{x} = \sqrt{2 \sum_{i=1}^N \frac{a_i'}{i+1} (x_0^{i+1} - x^{i+1})}, \quad (7)$$

Чтобы вычислить координату  $x_1$ , соответствующую крайнему верхнему положению объекта, приравняем нулю подкоренное выражение. Разделив полученное уравнение на  $x_0 - x$ , получим уравнение относительно  $x_1$

$$\sum_{i=0}^N e_i x^i = 0, \quad (8)$$

где коэффициенты  $e_i$  вычислим по формулам:

$$e_i = \frac{a_i'}{i+1} + e_{i+1} x_0; \quad e_N = \frac{a_N'}{N+1}, \\ i = N-1, \dots, 1; \quad e_0 = e_1 x_0.$$

Чтобы найти изолированный корень  $x_1$  алгебраического уравнения (8) его можно решить любым из численных методов [6]. Амплитуда свободных колебаний равна половине размаха

$$A = \frac{x_0 - x_1}{2}, \quad (9)$$

а смещение центра колебаний относительно положения статического равновесия

$$S = \frac{x_0 + x_1}{2}, \quad (10)$$

Для периода свободных колебаний находим

$$T = \sqrt{2} \int_{x_1}^{x_0} \Phi(x) dx, \quad (11)$$

где

$$\Phi(x) = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{a_i'}{i+1} (x_0^{i+1} - x^{i+1}) \right]^{-0.5}.$$

При изучении свободных колебаний большой интерес представляет временная несимметричность процесса. Для этого требуется вычислить интегралы

$$t_1 = \sqrt{2} \int_0^{x_0} \Phi(x) dx; \quad t_2 = \sqrt{2} \int_{x_1}^0 \Phi(x) dx,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – соответственно время движения объекта от положения статического равновесия в крайнее нижнее положение, крайнее верхнее положение и обратно.

Тогда период колебаний

$$T = t_1 + t_2.$$

Применение обычных формул численного интегрирования вышеприведенных несобственных интегралов невозможно, так как подинтегральное выражение в точках, определяющих смену направления движения  $x_0$  и  $x_1$ , обращается в бесконечность, что обуславливает большую ошибку. Чтобы избежать этого рекомендуют заменить выражение (11) квадратурной формулой наивысшей точности [3]. Следуя данным рекомендациям, представим  $\Phi(x)$  в виде

$$\Phi(x) = (x_0 - x_1)^{-0,5} (x - x_1)^{-0,5} \left( \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i x_i \right)^{-0,5}, \quad (12)$$

где коэффициенты  $\alpha_i$  вычисляются по рекуррентным формулам

$$\alpha_i = e_{i+1} + \alpha_{i+1} x_i; \quad \alpha_{N-1} = e_N, \quad i = N-2, \dots, 0.$$

Используя линейное преобразование

$$x = 0,5(x_0 + x_1) + 0,5(x_0 - x_1)x = S + Ax,$$

приведем отрезок интегрирования  $[x_1, x_0]$  в уравнении (11) к стандартному отрезку  $[-1, 1]$ . Получено

$$T = \sqrt{2} \int_{-1}^1 (1-x)^{-0,5} (1+x)^{-0,5} \frac{dx}{\sqrt{\sum \alpha_i (S + Ax)^i}} = \sqrt{2} \int_{-1}^1 (1-x)^{-0,5} (1+x)^{-0,5} f(x) dx. \quad (13)$$

Ортогональной системой многочленов на отрезке  $[-1, 1]$  с соответствующей весовой функцией  $\rho(x) = (1-x^2)^{-0,5}$  является система многочленов Чебышева первого рода [5]. В результате преобразований получено

$$T = \frac{\sqrt{2}\pi}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i \left( S + A \cos\left(\frac{2k-1}{2N}\right)\pi \right)^i}} + R(T), \quad (14)$$

где  $N$  – наивысшая достаточная степень полинома;  $R(T)$  – остаточный член многочлена Чебышева.

Представленная методика расчета обладает достаточной степенью точности, не уступающей другим известным методам: точному [2] и Линдстедта [3]. Достоинством данной методики является простота программной реализации расчета скелетных кривых нелинейных систем (рис. 4, а).

В результате проведенных расчетов получены скелетные кривые для ПВУ с механической обратной связью, характеристики ВУС которых соответствуют функциям (3) и (5). При реализации устройством характеристик ВУС Дюффинговского типа (рис. 3, а) скелетные кривые указывают на нелинейное увеличение частоты свободных колебаний с ростом амплитуды при «жесткой» нелинейности характеристики (рис. 4, б, кривая 1) и нелинейно уменьшение частоты при «мягкой» нелинейности (рис. 4, б, кривая 2). Меняя коэффициент приведенной жесткости  $C_{NL}$  путем изменения геометрических параметров упругих элементов ПВУ с механической обратной связью можно получить соответствующее смещение скелетной кривой в частотном диапазоне. При этом форма скелетной остается прежней. Например, при увеличении коэффициента  $C_{NL}$  при «жесткой» нелинейности характеристики, скелетная кривая смещается в область высоких частот (рис. 4, б, кривая 3). В случае, если вариация конструктивными параметрами ПВУ, в частности его обратной связи, приводит к изменению параметра  $\mu$ , определяющего вид нелинейности характеристики ВУС, то соответственно изменится наклон скелетной кривой. Увеличение параметра  $\mu$  для систем с характеристикой ВУС «мягкой» нелинейности приводит к более интенсивному снижению частоты свободных колебаний при росте амплитуды (рис. 4, б, кривая 4).

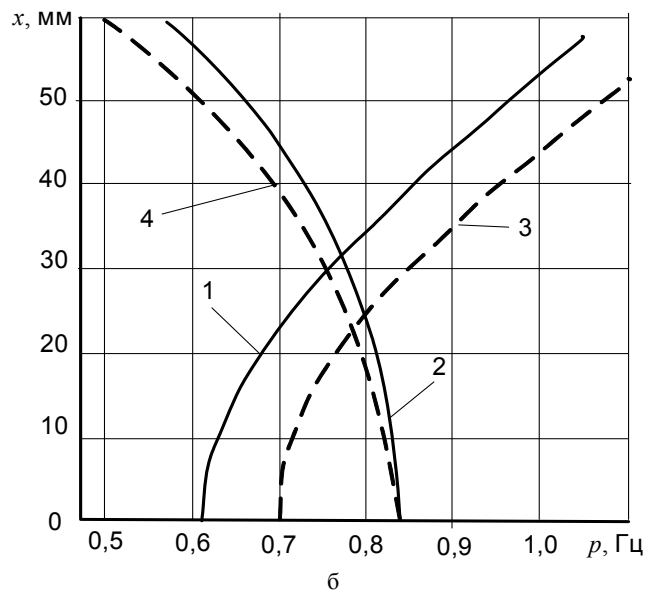
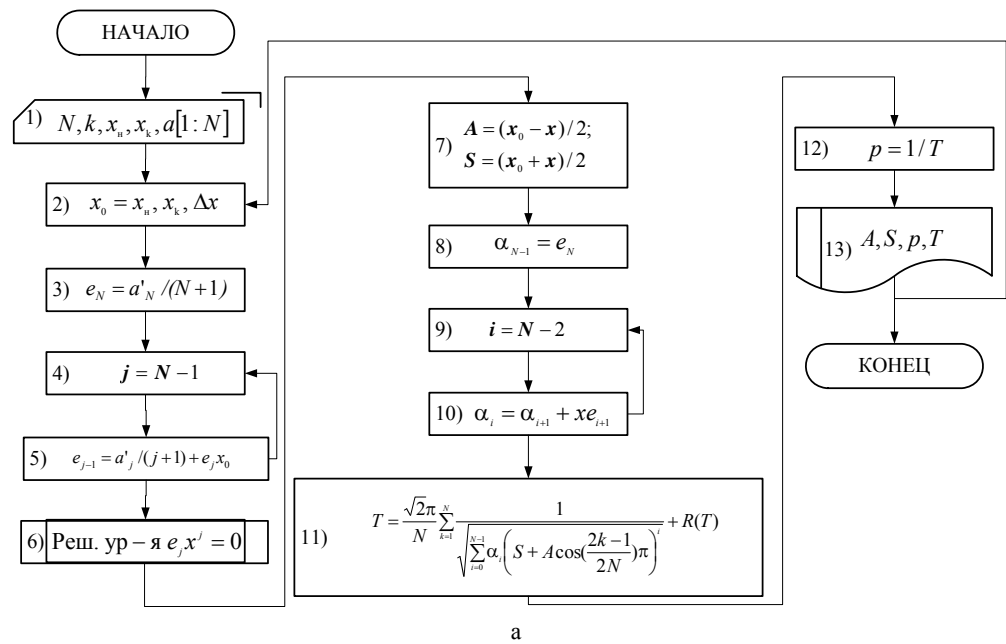


Рис. 4. Примеры расчета скелетных кривых: а – блок – схема программы расчета; б – скелетные кривые систем Дюффинговского типа

Проведенные исследования ПВУ с механической обратной связью показывают, что при определенных вариантах конструктивных параметров обратной связи можно получить характеристику ВУС с участком квазиулевой жесткости. Такая характеристика описана полиномом (5) при следующих значениях коэффициентов при элементах полинома:  $a_5 = 5,46 \cdot 10^{-7}$ ,  $a_4 = 0,000219$ ,  $a_3 = -0,004$ ,  $a_2 = -0,017$ ,  $a_1 = 1,79$ .

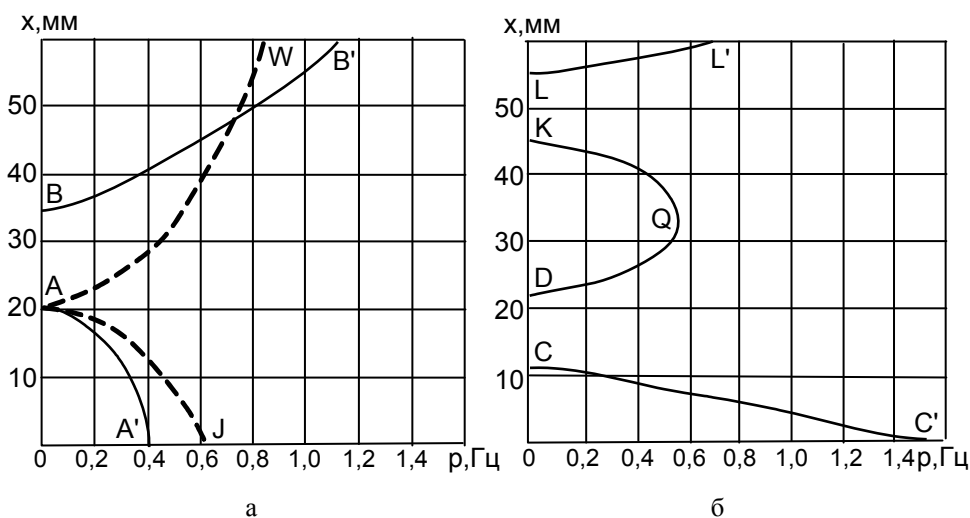


Рис. 5. Скелетные кривые для систем, содержащих ПВУ с механической обратной связью:  
 а – при наличии на характеристике ВУС одного участка квазиулевого жесткости;  
 б – при наличии на характеристике ВУС двух участков квазиулевого жесткости

Такие характеристики ВУС можно реализовать, применяя в составе системы известные ПВУ квазиулевого жесткости [7]. В результате проведенных расчетов получены скелетные кривые систем с квазиулевого жесткостью (рис. 5, а, сплошная и штриховая кривые соответствуют ПВУ с механической обратной связью и при наличии ПВУ квазиулевого жесткости).

На кривых можно выделить следующие характерные участки:

- на первом участке, соответствующем диапазону амплитуд от нуля до 20 мм, в рассматриваемых системах наблюдается нелинейное уменьшение частоты свободных колебаний (рис. 5, а, участки А'А и JA). Подобное явление наблюдается и у системы Дюффинговского типа с «мягкой» нелинейностью (см. рис. 4, б);
- при дальнейшем увеличении амплитуды колебаний от значения 20 мм скелетные кривые имеют существенное отличие, хотя формально должны соответствовать одинаковому состоянию систем. Так, для системы с ПВУ квазиулевого жесткости наблюдается точка перегиба – точка квазиулевого частоты А, соответствующая строго определенному конструктивными параметрами устройства значению амплитуды (точке срабатывания), при котором происходит смена направления упругих деформаций элементов ПВУ;
- наличие в системе ПВУ с механической обратной связью позволяет реализовать участок квазиулевого частоты свободных колебаний АВ. Величину данного участка определяет скачкообразное изменение амплитуды колебаний при переходе из точки А в точку В. Вариация конструктивными параметрами обратной связи позволяет изменять как величину данного участка, так и его расположение в диапазоне амплитуд колебаний;
- при последующем увеличении амплитуды в обеих рассматриваемых системах происходит нелинейное возрастание частоты свободных колебаний (участки АW и ВВ').

При определенных конструктивных параметрах ПВУ с механической обратной связью позволяют реализовать характеристику ВУС, которая имеет два участка квазиулевого жесткости. Такая характеристика описывается полиномом (5) при следующих значениях коэффициентов  $a_5 = 1,29 \cdot 10^{-6}$ ,  $a_4 = 0,000215$ ,  $a_3 = -0,013$ ,  $a_2 = 0,344$ ,  $a_1 = 3,9$ .

На соответствующей скелетной кривой (рис. 5, б) наблюдается два участка квазиулевого частоты свободных колебаний CD и KL, участок уменьшения частоты свободных колебаний C'C и участок увеличения частоты LL'. Также наблюдается комбинированный участок DQK, где частота свободных колебаний как увеличивается DQ, так и уменьшается QK.

**Выводы. 1.** Нелинейность упругих характеристик ПВУ обуславливает специфику исследования их свойств. При рассмотрении собственных колебаний такой ПВУ путем сравнительного анализа колебательных процессов в одномассовой линейной и нелинейной системах при кинематическом возбуждении установлено, что частота колебаний зависит от величины амплитуды. По-

этому вместо термина «собственная частота» следует применять термин «частота свободных колебаний».

2. Предложенная методика исследования может быть использована для построения скелетных кривых колебательных систем с различными характеристиками ВУС независимо от того, какими виброизолирующими устройствами они реализованы.

3. Анализ колебательного процесса системы с ПВУ квазиулевого жесткости показал, что присущая данному устройству характеристика ВУС определяет точку квазиулевого частоты. Следовательно, говорить о наличии участка квазиулевого частоты свободных колебаний в таких системах ошибочно.

4. Анализ результатов расчета скелетных кривых для ПВУ с механической обратной связью, у которых характеристики ВУС имеют один или несколько участков квазиулевого жесткости, позволяют установить присущую им способность обеспечивать участки квазиулевого и комбинированной частот свободных колебаний. Это позволяет выдвинуть гипотезу о возможном изменении форм резонансных колебаний в сторону их уменьшения без использования специальных демпфирующих устройств. Данная гипотеза требует проверки путем анализа вынужденных гармонических колебаний диссипативных систем, содержащих в своей структуре ПВУ с механической обратной связью.

#### Л и т е р а т у р а

1. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. М: Наука, 1975. – 703с.
2. Обморышев А.Н. Введение в теорию колебаний. М: Наука, 1976. – 276 с.
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. М: Наука, 1981. – 239 с.
4. Сидоренко И.И. Виброизолирующие устройства с механической обратной связью / Труд. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2006. Вып. 2(26). – С. 25-30.
5. Алабужев П.М. Виброзащитные системы с квазиулевого жесткостью / П.М. Алабужев, А.А. Гритчин, И.И. Ким // Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
6. Вержбицкий В.М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения. М.: Оникс 21 век, 2005. – 432 с.
7. Алабужев П.М. Некоторые результаты исследований виброзащитной системы с корректором жесткости / П.М. Алабужев, А.А. Гритчин, П.Т. Степанов, В.Ф. Хон. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1977. – №3. – С. 136-149.

УДК 622.7.002.5

С.А.Жданов, М.Н.Жданова

#### ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрен механизм разрушения покрытий, защищающих оборудование от атмосферного воздействия. Показано, что гидрофильная и гидрофобная природа растворителей способствует ускорению или торможению процесса разрушения покрытий. Алкилацетаты признаны лучшими растворителями, имеющими необходимую комбинацию гидрофобных свойств. Ист. 5.

Органические покрытия защищают стальные сооружения от воздействия наиболее агрессивных природных сред: солевого тумана, дождя, высокой влажности, ультрафиолетового излучения, экстремальных температур. Такие покрытия защищают от коррозии мосты, дамбы, морские буровые установки, хранилища, железнодорожный подвижной состав, корабли, складские емкости, промышленное оборудование, трубопроводы. Они создают защитный барьер между подложкой и коррозионными агентами и часто содержат антикоррозионные ингибирующие добавки. Первым видимым признаком потери защитных свойств покрытия является образование пузырей [1]. Повысить долговечность покрытия можно тщательным подбором компонентов и растворителей, используемых в лакокрасочной системе [2, 3].

Активные растворители растворяют смолы, входящие в состав краски, обеспечивают совместимость компонентов системы при сушке и требуемые свойства покрытия. Это такие кислородсодержащие растворители, как кетоны, сложные и простые гликолевые эфиры.

Формировать состав покрытий необходимо так, чтобы активный растворитель испарялся из покрытия последним. Это нужно для того, чтобы избежать несовместимости растворителя со

смолой, что может привести к осаждению смолы и утрате покрытием прозрачности, блеска и сплошности.

Такие растворители, как спирты, в комбинации с активными растворителями ведут себя, как последние, тогда как при индивидуальном применении не обладают этими свойствами (так называемые латентные растворители).

Применение разбавителей, например, углеводородных растворителей, совместно с активными и патентными растворителями снижает вязкость материалов. Для обеспечения испарения растворителя и целостности покрытия необходимо поддерживать высоким соотношение количеств активного (+ латентного) растворителя и разбавителя.

Покрытия, получаемые из органических лакокрасочных материалов, часто долго удерживают значительные количества растворителей, что при погружении покрытий в воду или эксплуатации во влажной атмосфере приводит к образованию пузырей.

Процесс сушки полимерных покрытий идет в 2 стадии. На первой (влажной) стадии растворитель испаряется с поверхности покрытия. На этот процесс влияют парциальное давление каждого растворителя, скрытая теплота испарения и перенос растворителя через тонкий слой воздуха у поверхности покрытия. На второй стадии концентрация растворителя в этом воздушном слое быстро падает до нуля. Однако под поверхностью покрытия в связующем может оставаться 10-20% первоначального количества растворителя. Дальнейший выход растворителя лимитируется медленной диффузией через плотную полимерную матрицу, в которой 5-10% растворителя может оставаться на протяжении всего существования покрытия.

В системах с многими растворителями за счет испарения более летучих компонентов концентрация активных растворителей возрастает и достигает высоких значений. Обоснованный выбор растворителя особенно важен для химически отверждающихся покрытий, которые могут удерживать значительные количества растворителя, что приводит к образованию пузырей, снижению коррозионной стойкости и ухудшению химических и физических свойств покрытий.

Для объяснения образования пузырей обычно предлагается пять механизмов: объемное расширение при набухании; поглощение или образование газа; осмотический процесс; электроосмотический процесс; разделение фаз при образовании пленки. Удерживаемый растворитель может влиять на многие из этих механизмов [4].

Все органические покрытия абсорбируют воду в условиях высокой влажности или при погружении в воду (0,1 - 3% для типичного органического покрытия), пигментированные покрытия абсорбируют больше воды, чем лаковые. Набухание покрытий при абсорбции воды обуславливает появление поперечных деформаций пленки. Это приводит к возникновению напряжений на межфазной границе «покрытие – подложка», потере адгезии и образованию пузырей.

При нанесении и сушке покрытий в их состав могут включаться пузырьки воздуха, которые распределяются по всей толщине покрытий. При попадании на границу «покрытие – подложка» они могут являться местами начала коррозии. Подбор летучестей растворителей должен обеспечивать оптимальные скорости их испарения при сушке. Кроме того, рекомендуется использовать менее летучие растворители с более высокой температурой кипения.

Большинство случаев вспучивания защитных покрытий на стали можно объяснить с помощью осмотического механизма. При отверждении пленка образует мембрану, проницаемую для воды и относительно непроницаемую для растворителей.

При контакте лакокрасочной пленки с водой молекулы последней проникают через покрытие и водорастворимые компоненты, находящиеся в покрытии и на границе с подложкой (соли, гидрофильные растворители), растворяются. Скорость диффузии удерживаемого растворителя из покрытия намного ниже скорости растворения, и по всей толщине покрытия создается градиент концентраций растворителя. Вследствие осмоса в покрытие поступает вода и идет процесс выравнивания концентраций растворителя. В итоге происходит потеря адгезии и осмотическое давление отделяет пленку от подложки, образуются пузыри, т.е. происходит вспучивание. Высококипящие гидрофильные растворители, такие как гликолевые эфиры, способствуют этому процессу.

В случае коррозии части окрашенного изделия влага через покрытие переносится благодаря градиенту потенциалов между корродирующей площадкой и защищенными участками (электроосмотический градиент). При образовании пузырей комбинированное осмотическое и электроосмотическое воздействие на покрытия примерно в 20 раз эффективнее чисто осмотического.

В обычно беспористых защитных покрытиях может развиваться микропористая структура, если в растворителе не растворяются компоненты смолы. Это происходит в следующих случа-

ях: когда наблюдается преимущественное испарение растворителя и в покрытии остается нерастворяющийся разбавитель; при потере растворимости смолы в растворителе с ростом концентрации смолы до 100%; при потере растворимости смолы вследствие образования химических поперечных связей и роста молекулярного веса полимера на последних этапах отверждения. Если микропустоты, находящиеся преимущественно у межфазной границы «покрытие – подложка», заполняются растворителем, то происходит перенос воды через покрытие и возможно вспучивание. При всех пяти механизмах процесса образования пузырей, проникновение через покрытие кислорода и транспорт ионов с обеих сторон межфазной границы «покрытие – подложка» создают условия для электрохимической коррозии.

В связи с проблемой образования пузырей привлекают внимание высококипящие алкил-ацетатные растворители, обладающие прекрасной комбинацией свойств - гидрофобностью и хорошей растворяющей способностью, совместимые с синтетическими смолами, используемыми в высококачественных покрытиях.

Два высококачественных покрытий - эпоксидное с полиамидным отверждением и двухкомпонентная полиуретановая эмаль были исследованы с целью установления влияния подбора и выбора приоритетных растворителей на процесс образования пузырей.

В эпоксидной системе использовали следующую комбинацию растворителей: метилизобутилкетон (активный растворитель со средней скоростью испарения), ксилен (разбавитель со средней скоростью испарения), активный «хвостовой» (испаряющийся последним) растворитель в массовом соотношении 1:1:1. В качестве обладающего низкой скоростью испарения «хвостового» активного растворителя использовали как гидрофильные гликолевые эфиры, смешивающиеся с водой, так и гидрофобные оксогексил и оксогептил ацетаты. В полиуретановом покрытии использовали оксогексил и оксогептил ацетаты, эпоксиэтиланетат, меток сипропилацетат и этил-3-отоксипропионат.

Покрытия толщиной 76 мкм наносили на образцы из холоднокатаной стали ручным распылителем без грунтования (для ускорения эксперимента). Перед испытанием покрытия подвергали сушке в течение двух недель при 25°C и 50% относительной влажности. Кромки и нерабочие стороны образцов изолировали; в опытах использовали образцы, двоянные с целью определения сравнительной устойчивости к вспучиванию в одинаковых условиях. Проводили следующие испытания: погружение в воду при 25°C; камера влажности; камера солевого тумана. Покрытия осматривали после двух и четырех недель погружения в воду и после 300 ч и 500 ч пребывания в камерах. Размеры и распределение пузырей оценивали в соответствии с ASTM D 714 [5]. На покрытие образцов для камеры солевого тумана наносили надрезы с целью сравнения степени вспучивания на защищенных и незащищенных участках.

Для эпоксидного покрытия лучшими растворителями оказались оксо-гексил и оксогептил ацетатные. После 4-х недель погружения в воду и 500 ч пребывания в камере влажности пузыри не образовались. После 300 ч в камере солевого тумана в области надреза образовалось количество продуктов коррозии, минимальное в сравнении со всеми остальными составами. Далее ухудшение результатов происходило в такой последовательности растворителей. Этилтриэтоксипропионат, метоксипропилацетат, этоксиэтанол. Подобные результаты получены и для уретановых покрытий. В обоих случаях с ростом совместимости (смешиваемости) с водой увеличивалась склонность покрытий к образованию пузырей.

Итак, защитные полимерные покрытия удерживают значительные количества растворителей в течение длительного времени. Гидрофильная или гидрофобная природа растворителей, удерживаемых в химически отверждаемых покрытиях, способствует соответственно ускорению либо торможению процесса образования пузырей, который может протекать по нескольким общепризнанным механизмам. Апилацетаты, обладающие низкой скоростью испарения, признаны лучшими растворителями для применения в высококачественных защитных покрытиях. Они имеют необходимую комбинацию гидрофобных свойств и хорошо растворяют синтетические смолы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Жданов С.А., Жданова М.Н. Исследование защитных свойств модифицированных покрытий на основе полистирола. Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля 2002. - 320 с.
2. Жданов С.А., Жданова М.Н. Оценка надежности и пути предотвращения отказов технических средств в результате коррозии. Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском у машинобудуванні: Зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч. 2. –Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля 2004. - 203 с.

3. Королев Ю.В. Защита оборудования от коррозии. – Л.: Машиностроение, 1973. – 136 с.
4. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой – М.: ВИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
5. Методы защиты от коррозии подвижного состава и металлоконструкций подвижного состава. Сб. науч. тр./ Под ред. Н.А. Буше, А.Д. Конюхова – М: Транспорт, 1988. - 130 с.

УДК 621.9.048 : 621.791 – 442.2

А.Б.Жидков, Р.Н.Паненко

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АЧХ В ПРОЦЕССЕ ВИБРООБРАБОТКИ

Изложены основы методики изучения АЧХ образцов, позволяющей определить изменения, происходящие в процессе их виброобработки. Приведена схема установки и специализированные средства изменения. Рис. 4, ил. 11.

**Постановка проблемы в общем виде.** Низкочастотная вибрационная обработка (НВО) в том или ином варианте достаточно часто применяется для снижения остаточных напряжений, стабилизации размеров деталей и изделий, снижения риска образования в них трещин [1]. Достижение желаемого результата в значительной мере зависит от соблюдения оптимальных параметров обработки, среди которых важнейшими являются частота, амплитуда колебаний, коэффициент асимметрии цикла и пр. Определение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колебательной системы производится как на стадии подготовки обработки, так и во время обработки для контроля процесса, а в некоторых случаях и после обработки для оценки результата. Однако информация, получаемая при анализе АЧХ, по мнению авторов используется не полностью. К тому же в литературе отсутствуют сведения о динамике изменения АЧХ от момента формирования поля напряжений до момента окончания обработки. Это свидетельствует о недостаточной изученности данной проблемы. Для проведения подобного исследования необходима соответствующая методика, которая на настоящий момент не разработана.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Результаты определения параметров АЧХ могут использоваться в качестве меры эффективности обработки либо в чистом виде (величина смещения резонансных пиков и снижение их амплитуды), либо путем их преобразования в другие величины (фаза запаздывания, логарифмический декремент затухания). Большинство публикаций свидетельствуют о том, что при НВО происходит сдвиг низкочастотных резонансных пиков в сторону снижения частоты и снижение амплитуды колебаний в режиме резонанса [2-4].

В то же время авторы работы [5] отмечают, что смещение резонансного пика происходит на очень незначительную величину, которая сравнима с погрешностью измерений. В работе [6] отмечено не снижение амплитуды резонансного пика после обработки, а его значительное сужение. Это противоречит результатам множества более ранних работ. В той же работе отмечены изменения, происходящие в высокочастотной зоне спектра, и сделано предположение о возможности их использования для мониторинга процесса НВО.

Существует также малораспространенный способ НВО, при котором обработку ведут на частотах с резким изменением амплитуды, не всегда совпадающих с резонансными пиками [7]. Однако в других работах наличие подобных участков в спектре не упоминается.

В большинстве случаев данные, полученные при НВО реальных конструкций, не могут быть использованы для статистической обработки, поскольку невозможно гарантировать стабильность или достаточную точность измерения многих технологических факторов в производственных условиях. Поэтому невозможно определить, являются ли аномалии в АЧХ случайной погрешностью измерения или фиксацией действия нового неизвестного фактора. Определить это можно только при выполнении больших серий экспериментов на образцах, обладающих высокой степенью повторяемости свойств и достаточно дешевых при изготовлении. Этим путем идут многие авторы [8, 9, 10]. Хотя образцы, используемые в этих работах, в процессе НВО получают значительные пластические деформации, что может существенно изменить АЧХ. Кроме того, не существует ни одной работы, где бы приводились результаты исследования динамики изменения АЧХ.

**Постановка задачи.** Таким образом, необходимо разработать и апробировать методику исследования АЧХ для простых дешевых и легко моделируемых образцов с возможностью отслеживания динамики изменения АЧХ с высокой разрешающей способностью по частоте и амплиту-

де. Еще одно крайне желательное свойство образца – его простота с точки зрения математического моделирования процесса и возможность изготовления образцов-свидетелей для осуществления контроля процесса НВО. Регистрирующая аппаратура должна иметь широкие пределы измерения частот и амплитуд, невысокую стоимость и массогабаритные характеристики.

**Основной материал.** В качестве образца использовался горячекатаный квадратный профиль из стали ВСтЗсп длиной 1 м со шпилькой, приваренной в центре образца, для крепления на стенде с использованием резьбового соединения. Таким образом, были получены фактически два образца – консольные балки с единой точкой крепления, одна из которых может быть использована как образец-свидетель. Консольно-закрепленные балки легко моделируются, а наличие готовых катаных квадратов различного сечения со стороной 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20 мм позволяет легко изменять собственные частоты только за счет изменения сечения с сохранением остальных геометрических характеристик. Образцы после правки и приварки шпилек подвергали высокому отпуску с целью устранения напряжений, вызванных предварительными операциями. Окалину, образующуюся на образцах, снимали металлическими щетками с использованием угловой шлифовальной машинки. Этим достигались две цели: предотвращение появления лишних шумов при разрушении и отслаивании окалины и получение шлифованной поверхности с минимальным наклепом. Остаточные напряжения создавали на одной из консолей путем нагрева ее центральной зоны угольным электродом. Блестящая поверхность образца позволяет оценить размер зоны нагрева по цветам побежалости, что дает дополнительную возможность контроля размера зоны пластических деформаций. Формирование поля остаточных напряжений за счет нагрева не приводит к изменению геометрии консоли, что позволяет с высокой степенью достоверности предполагать, что изменение АЧХ происходит вследствие наличия напряжений. Еще одним достоинством выбранных образцов является наличие ярко выраженного резонанса на частотах в диапазоне 180 – 470 Гц, не кратных 50 Гц, гармоники которых являются самым распространенным источником шума от воздействия электромагнитных полей силового оборудования.

Для проведения эксперимента использовался вибрационный электродинамический стенд ВЭС-10А. Стенд состоит из стойки, в которой сгруппированы генератор, система управления и контроля, а также электромагнитного вибратора, выполненного в виде отдельного блока. При проведении исследований на вибратор закрепляли образец с датчиками (рис. 1).

По условиям использования стенда максимальный вес обрабатываемого изделия не должен превышать 1,9 кг, что соответствует параметрам образцов, а рабочий диапазон частот 4 – 4000 Гц является избыточно широким. В диапазоне частот 4 – 5000 Гц при номинальных нагрузках стенд обеспечивает коэффициент гармоник не более 10% с несколькими всплесками на частотах более 1500 Гц. Встроенный генератор частот обеспечивает ручную плавную регулировку частоты синусоидальной формы в трех фиксированных диапазонах.

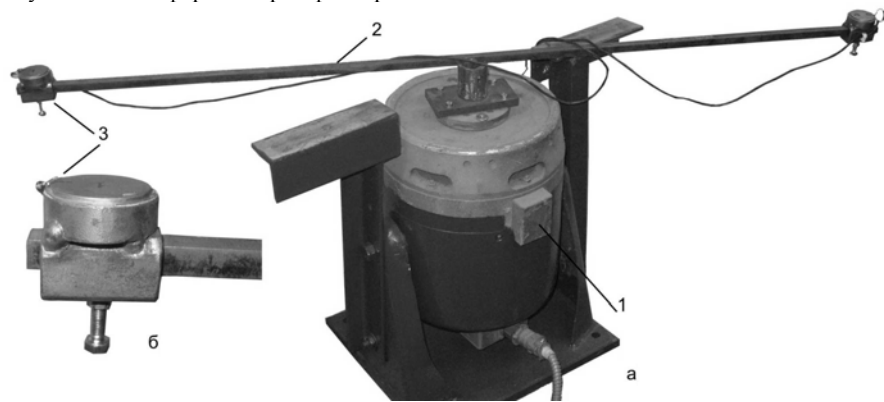


Рис. 1. Вибратор с образцом и датчиками: а - общий вид; б - датчик крупно; 1 – вибратор; 2 – образец; 3 – датчик

В процессе проведения эксперимента выяснилось, что серия записанных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) не обеспечивала повторяемости результатов. В первую очередь это связано с тем, что изменение рабочей частоты можно производить только в ручном режиме, что не гарантирует одинаковую скорость изменения частот при сканировании диапазона и точную

настройку при обработке на фиксированной частоте. Кроме того, обнаружилась нелинейность и высокий коэффициент гармоник встроенного генератора, который при максимальных амплитудах вместо заявленных 10 % приближался к 40 %.

Для повышения достоверной обработки результатов необходимо модифицировать вибростенд. Модификация позволила решить проблему с качеством сигнала и создать дополнительные возможности по управлению возмущающей силой. Для этого в состав комплекса было решено включить компьютер.

С целью устранения внутреннего «шума» из схемы стенда был исключен встроенный генератор. Для согласования уровней сигналов, компенсации длины кабеля и уменьшения наводок использован согласующий элемент, собранный на базе микросхемы TDA2822M (рис. 2). Микросхема обеспечивает линейность усиления в широком диапазоне частот (20 – 20000 Гц).

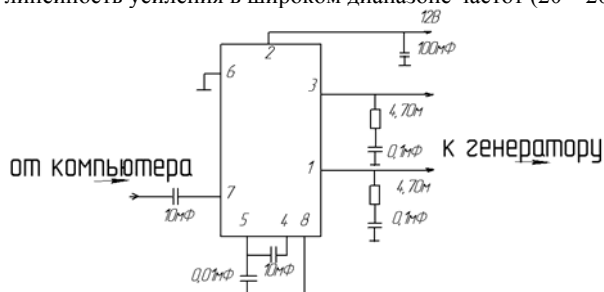


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная устройства сопряжения

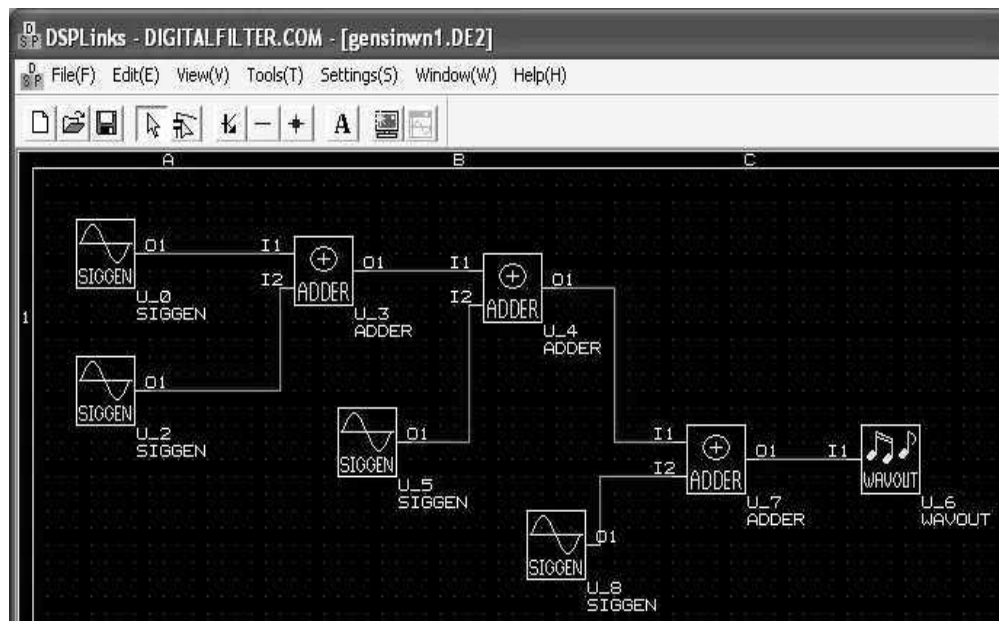
В устройстве используется мостовое включение микросхемы. Это решение позволило обойтись без дополнительных выходных транзисторов и получить до 1 Вт выходной мощности, что с запасом хватило для работы устройства с низким коэффициентом гармоник до 1% во всем динамическом диапазоне.

В качестве внешнего генератора используется звуковая карта компьютера или ноутбука. Сигнал генерируется с использованием стандартных программа генерации звуковых файлов Adobe Audition 1.5, которая позволяет генерировать чистый тон или диапазон частот с изменением частоты за выбранный промежуток времени. Для генерации более сложных сигналов используется программа DSPLinks. Программа позволяет смикшировать несколько тонов различной интенсивности и получить выходной поличастотный сигнал, в том числе и несинусоидальной формы (рис. 3).

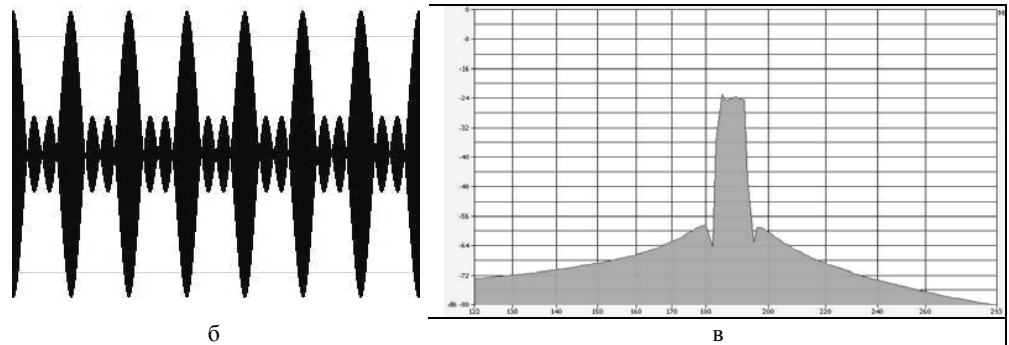
Также есть возможность задать значения амплитуды внутри периода в виде набора числовых значений и получить еще более сложную форму сигнала. Частота дискретизации генерируемых файлов 48000 Гц, разрядность – 16 bit. Необходимо отметить, что не любая звуковая карта способна воспроизводить и записывать сигнал без искажений. Авторам пришлось экспериментально подбирать карты, которые точно воспроизводят и записывают сигнал. Также имеет значение уровень сигнала, поскольку при превышении допустимого порога часть амплитуды обрезается или возникают другие искажения.

В качестве датчиков вибрации использовались пьезоэлементы. Широкая полоса пропускания частот датчика позволяет анализировать не единичные амплитуды колебаний в изделии, а полную комплексную АЧХ широкого спектра. Конструктивно датчик вибрации представляет собой пьезоэлемент, приклеенный к специальной оправе с возможностью крепления на образце (рис. 1 б).

Для записи использовался персональный компьютер с PCI звуковой картой, позволяющей записывать 2 канала данных с частотой дискретизации 44000 Гц, а для обработки результатов, включая анализ частотного спектра, использовалась программа PowerGraph. Альтернативой PowerGraph для обработки звука является программа Sound Forge 8.0.



а



б

в

Рис. 3. Создание поличастотного сигнала (частоты 186 – 191 Гц): а – окно программы генерации; б – форма сигнала в координатах время-амплитуда; в – спектр сигнала в координатах частота – децибелы

Для синхронизации пуска программ генерации и записи соответствующим программам присваивался высший приоритет в операционной системе и использовались модифицированные компьютерные мыши, которые имели общую левую кнопку, запускающую программы на выполнение одновременно на двух компьютерах. Таким образом, установка для проведения экспериментов состояла из вибратора, образца с системой крепления и датчиками и двух компьютеров (рис. 4).



Рис. 4. Схема установки

После обследования всех образцов был создан файл, представляющий собой эталонный тон частотой 160 Гц. Частота была выбрана такой, при которой ни для одного из образцов не наблюдался резонанс. Эталонный тон позволял настроить уровень генерации сигнала и его записи и проверить звуковые карты генерирующего и пишущего на наличие искажений.

Эксперименты по исследованию АЧХ проводили в несколько этапов. На первом этапе с использованием Adobe Audition 1.5 создавали файл с частотой, плавно изменяющейся от 10 до 450 Гц за 10 секунд. После подбора оптимального уровня сигнала производилось нагружение вибрационным воздействием образца в исходном состоянии (без напряжений) с использованием созданного файла. Это дало возможность определить резонансные пики для данного образца и выбрать наиболее ярко выраженный из них.

Далее образец определенного сечения устанавливался на вибратор и производилась запись нескольких циклов с изменяющейся частотой для точного установления наиболее ярко выраженного резонанса. Необходимо отметить, что при возмущающем сигнале 10 – 450 Гц в спектре присутствовали резонансные пики частотой более 1 кГц. Для исключения возникновения помех от дребезжания элементов крепления, проводов и пр. все элементы надежно закрепляли, а все резьбовые соединения дополнительно фиксировали контргайками. Несколько циклов нагружения полосой частот показали, что частота резонансного пика является стабильной, если не нарушаются условия крепления и положения датчиков. Поэтому все эксперименты решено было производить с одной установки датчиков и образца.

На следующем этапе исследования образец, не снимая со стенда, подвергали нагреву графитовым электродом на участке длиной 100 мм в центре одной из консолей. Нагрев вели в течение 10 с при токе 120 А и напряжении 25 В. После полного остывания образца производили его нагружение той же полосой частот, что и в исходном состоянии. Записи АЧХ зафиксировали изменение спектра в высокочастотной области, а именно появление новых резонансных пиков в области 1,5 – 8 кГц. Причем спектр изменился только на консоли, которую подвергали нагреву, а на контрольной консоли остался неизменным.

Далее образец нагружали в течение 5 минут на ярко выраженной резонансной частоте, которая для квадрата 10x10 мм составила 188 Гц, 12x12 – 217 Гц, 14x14 – 276 Гц и т.д. При этом сигнал с датчиков записывался от начала и до конца обработки. Анализ показал, что при обработке в консоли с напряжениями возникают высокочастотные биения, которые длятся несколько секунд (от 6 до 15), затем пропадают (период 30 – 40 секунд) и возобновляются вновь. Частоту появляющихся биений идентифицировать не удалось, очевидно имеет место появление сложного негармонического сигнала в виде коротких всплесков с более длительными паузами. Окончательно биения исчезали, примерно, через 150 – 190 секунд после начала обработки.

На последнем этапе образец вновь нагружали полосой частот, аналогично образцу без напряжений. АЧХ оказалось абсолютно идентичной начальной как для контрольной консоли, так и для консоли, в которой создавали напряжения. Можно предположить, что произошло снижение остаточных напряжений и стабилизация АЧХ.

По мнению авторов, биения, возникающие при нагружении образца с напряжениями, являются акустическими волнами, возникающими при пластической деформации [11]. Это подтверждается тем обстоятельством, что данные сигналы не являются синусоидальными, следовательно, не могут быть гармониками возмущающего сигнала. Возникают сигналы только при определенных амплитудах колебаний (резонанс) и исчезают после НВО, что также подтверждает предположение о том, что это проявление волн пластической деформации, которая происходит при НВО.

**Выводы и перспективы исследований.** Разработана методика исследований АЧХ образцов, позволяющая изучить динамику изменения АЧХ при возникновении в них поля напряжений и его изменений в процессе НВО.

Для простых образцов не установлено снижение амплитуды и частоты резонансного пика при возникновении и изменении остаточных напряжений. Очевидно, данный эффект, который наблюдается в реальных конструкциях, связан не только с полем напряжений, а и с изменением их жесткости, геометрии, массы и пр. в процессе сварки и НВО.

Исследования динамики изменения АЧХ показало, что в области частот, которые в несколько раз выше частоты обработки, появляются и исчезают заметные резонансные пики (биения). Биения носят ярко выраженный периодический характер, но не являются гармоническими.

Необходимо выделить и статистически обработать высокочастотные биения, которые, очевидно, являются следствием процесса пластической деформации. Получение зависимостей ха-

рактик высокочастотных биений от характеристик процесса пластической деформации позволит использовать эти данные для контроля и повышения эффективности процесса НВО.

Методика должна быть дополнена таким образом, чтобы обеспечивать однообразие формирования полей напряжений и определения их численных значений.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.Б.Жидков Обработка сварных изделий с использованием вибрации // Вісник СНУ ім. В.Даля – 2003. - № 11. - С. 26 – 37
2. А.И. Дрыга. Вибростабилизирующая обработка крупногабаритного корпуса статора гидрогенератора с применением широкодиапазонных виброкомплексов. // Тяжелое машиностроение, 2003, № 9. – С. 37 – 39.
3. Пат. 3741820 США.
4. В.-С.И.Крицонас, В.П.Гиниотис, И.Ю.Адамонис. Виброобработка сварных конструкций станков и машин. // Станки и инструмент, 1979, № 4. – С. 30 – 31.
5. Расторгуев Д.А., Драчев О.И., Бобровский А.В. Способ диагностики вибрационной обработки маложестких деталей. // Высокие технологии в машиностроении. Материалы научно-технической конференции (19.11.2002 – 21.11.2002). Самара. 2002. - С. 216 – 217.
6. В.А.Ионов, В.И.Борисов, А.М.Вельбель, В.Г.Смирнов. Влияние виброобработки на вибрационный спектр сварных конструкций. // Тяжелое машиностроение, 1998, № 11-12. – С. 28 – 31.
7. Пат. 3677831 США.
8. В.Г.Полнов, М.Н.Могильнер. Определение режимов вибрационной обработки сварных конструкций с целью снижения остаточных напряжений. // Сварочное производство, 1984, № 2. – С. 32.
9. В.Е.Соломатин, И.М.Изюрьев, Ф.М.Бабина. Влияние низкочастотной виброобработки на свойства сварных соединений стали 16Д. // Автоматическая сварка, 1984, № 2. – С. 72 – 73.
10. Р.Даусон, Д.Ж.Моффат. Вибрационное снятие напряжения и исследование его эффективности. // Теоретические основы, 1980, т. 102 №2. - С. 1-9.
11. Бовенко В.Н.// Изв. АН СССР, Сер. физ.- 1986.- Т.50.- №3. - С. 509-512.

УДК 658.383.3

Н.А.Пительгузов, А.В.Черных, О.Н.Гунченко

#### ПРОБЛЕМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ТРАВМАТИЗМА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассматриваются специфические особенности профилактики травматизма при организации перевозок грузов на промышленном железнодорожном транспорте предприятий. Ист. 4.

**Постановка проблемы.** Железнодорожный транспорт промышленного предприятия является одним из сложных технологических комплексов, включающих многочисленные операции, связанные с начальными и конечными стадиями перевозочного процесса, обработки вагонов, организации погрузки-выгрузки грузов, которые выполняются в условиях с повышенной опасностью.

Анализ литературных источников и результатов исследований несчастных случаев [1] показал, что рост травматизма на промышленном транспорте при наличии достаточно сложной системы организации перевозок связан, прежде всего, с увеличением психофизиологических нагрузок на обслуживающий персонал, снижением качества контроля за соблюдением техники безопасности, халатным отношением к процессу труда [2, 3, 4].

**Постановка задачи.** С усложнением технологических процессов производства, увеличением объемов выпускаемой продукции необходимо больше уделять внимание совершенствованию

техники безопасности, и в первую очередь, обучению профилактике производственного травматизма.

**Изложение основного материала.** Основным направлением снижения травматизма на промышленном железнодорожном транспорте является проведение профилактических мероприятий, входящих в месячные планы работы железнодорожного цеха предприятия. В эти мероприятия в обязательном порядке должны быть включены технические, санитарно-гигиенические, социальные и организационные работы, обеспечивающие безопасность эксплуатации оборудования, механизмов и технологических процессов, внедрение комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ, улучшение содержания и ремонта оборудования и погрузочно-разгрузочных машин [4].

В санитарно-гигиенических мероприятиях по охране труда необходимо предусмотреть наличие санитарно-бытовых помещений, вентиляции, освещения, отопления и индивидуальных средств защиты работающих. Организационные мероприятия должны включать обеспечение технического освидетельствования машин и механизмов, проведение комиссионного весеннего и осеннего технических осмотров железнодорожных путей, проверку электрооборудования, сосудов работающих под давлением, состояния рабочих мест, территорий, подкрановых и повышенных путей, служебных переходов через пути. Кроме того, необходимо проводить обучение и пропаганду охраны труда.

Обеспечение безопасности работ во многом зависит от уровня технических знаний и выполнения работниками основных правил, положений по охране труда и должностных инструкций. Обучение по вопросам охраны труда проводится в виде инструктажа, которые подразделяются на первичные и периодические.

К первичным видам обучения относятся: вводный инструктаж, инструктаж на рабочем месте и первичная проверка знаний, которые проводятся с лицами, вновь принимаемыми на работу, а также переводимыми на другую работу.

Цель вводного инструктажа – ознакомление работников с общими положениями по охране труда, условиями работы и правилами внутреннего трудового распорядка на предприятии. Вводный инструктаж содержит основные вопросы по технике безопасности, которые разъясняет инженер по технике безопасности или другой работник, ведающий этими вопросами. Это происходит до издания приказа о приеме на работу и регистрируется в едином журнале по установленной форме.

К периодическим видам обучения относятся: периодический или повторный инструктаж, внеочередной или внеплановый, текущий инструктаж, обучение по охране труда и периодическая проверка знаний по охране труда при выполнении маневровой и грузовой работы.

Периодический или повторный инструктаж назначают с целью разъяснения мер безопасности при выполнении работ, ознакомлении с принципами, указаниями по охране труда и с целью закрепления знаний и навыков по охране труда. Проводит его руководитель работ – мастер, бригадир в форме конкретных указаний о безопасных приемах труда перед началом работ на новом месте и изменившихся условиях во всех случаях, но не реже одного раза в три месяца, а с работниками со стажем по данной работе до одного года – не реже двух раз в три месяца. Это регистрируют в цеховом журнале или индивидуальной карточке.

Внеочередной или внеплановый инструктаж необходимо проводить в связи с имевшей место производственной травмой или нарушением требования техники безопасности, которое привело или могло привести к несчастному случаю, проводят руководители цехов, смен, инструкторы, руководители и инженерно-технические работники предприятий в форме беседы не позднее 3 дней после совершившегося нарушения с отметкой в журнале или индивидуальной карточке с подписью инструктируемого.

Одной из эффективных мер, способствующих профилактике производственного травматизма является систематическая проверка и контроль выполнения разрабатываемых мероприятий по охране труда и технике безопасности, проводимых в виде трехступенчатого контроля.

Первая ступень контроля проводится ежедневно старшим диспетчером, мастером погрузочно-разгрузочных работ на рабочем месте. Обнаруженные недостатки заносятся в специальную книгу, вторую ступень проводит – зам. начальника железнодорожного цеха два раза в месяц с представителем профсоюзной организации, третья ступень проводится главным инженером предприятия совместно с представителем месткома. Комиссия рассматривает, как выполняются разработанные мероприятия по охране труда, как устраняются обнаруженные ранее недостатки, по

проверке состояния и содержания хозяйства и качество проводимого инструктажа. По результатам проверки в третьей ступени при необходимости издается приказ по предприятию.

**Вывод.** Введение трехступенчатого контроля в службах эксплуатации на железнодорожном транспорте предприятий позволит повысить контроль соблюдения техники безопасности и снизить травматизм среди работников занятых на выполнении грузовых, маневровых и поездных работах.

#### Л и т е р а т у р а

1. «Некоторые вопросы расследования и ведения учета несчастных случаев и профзаболеваний».- Киев, Кабинет министров Украины, ж. «Баланс» № 37/527, 2004г. – С. 2-36.
2. Охрана труда на ж.д. транспорте. Учебник для вузов под ред. Ю.Г. Сибарова.. – М.:Транспорт, 1981. – 287 с.
3. Бекасов В.И. и др. Охрана труда в грузовом хозяйстве. – М.:Транспорт, 1986 – 273 с.
4. Симин Н.Ю., Левмунин А.Л. Безопасность труда на ж.д. транспорте – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.

УДК 621.833

А.И.Павлов, В.П.Шишов, П.В.Филь, А.П.Карпов

#### ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

В статье рассмотрен вопрос о вычислении приведенного радиуса кривизны в зубчатом зацеплении независимо от вида контакта и самого зацепления. Установлена универсальная форма записи формулы для вычисления приведенного радиуса кривизны. Получено еще одно подтверждение целесообразности применения эвольвентного зацепления. Рис. 3, ист. 5.

В теории зубчатых зацеплений [1, 2] приведенный радиус кривизны эвольвентного зацепления с внешним контактированием определяется по формуле

$$\rho_{np} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}, \quad (1)$$

а для внутреннего контактирования

$$\rho_{np} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 - \rho_1}. \quad (2)$$

Здесь  $\rho_1, \rho_2$  – радиусы кривизны контактирующих поверхностей, причем  $\rho_1 < \rho_2$ .

Для эвольвентного зацепления [3], ранее в теории зацеплений не рассматриваемого, с контактированием выпуклой и вогнутой поверхностей напрашивается применение формулы (2), что и требуется доказать.

Цель работы – получить универсальную формулу для вычисления приведенного радиуса кривизны в любом зацеплении независимо от вида контакта.

Рассмотрим вначале эвольвентное зацепление. Радиусы кривизны рабочих поверхностей в полюсе передачи вычисляются по формулам:

$$\rho_1 = r \sin \alpha,$$

$$\rho_2 = ur \sin \alpha,$$

где  $u$  – передаточное число,  $r$  – радиус делительной окружности шестерни,  $\alpha$  – угол зацепления эвольвентной передачи.

Тогда приведенный радиус кривизны для внутреннего зацепления можно определить по формуле (2), а для внешнего зацепления будет получена из формулы (2), если учесть, что радиус делительной окружности зубчатого колеса  $R = ur$  имеет отрицательное значение, т.е.  $ur < 0$ , так как центр вращения  $O_2$  расположен по другую сторону от центра вращения относительно начала системы координат, принимаемого в полюсе передачи (рис. 1).

Приведенный радиус кривизны в произвольной точке на линии зацепления, отстоящей от полюса передачи на полюсном расстоянии  $\ell$ , определяется по формулам:

для внутреннего зацепления

$$\rho_{np} = \frac{(\rho_1 + \ell)(\rho_2 + \ell)}{\rho_2 - \rho_1}, \quad (3)$$

для внешнего зацепления

$$\rho_{np} = \frac{(\rho_1 + \ell)(\rho_2 - \ell)}{\rho_2 + \rho_1}, \quad (4)$$

где следует подставлять абсолютные значения радиусов кривизны  $\rho_i$ .

Для эволютного зацепления [3, 4] радиусы кривизны в полюсе передачи определяем через коэффициент разновидности  $k$  (рис. 2), при этом принимаем, что  $\rho_1 > \rho_2$  и  $k \leq r \sin \alpha \cos \alpha$ .

Тогда

$$\rho_1 = \frac{rk \sin \alpha}{r \sin \alpha \cos \alpha + k} \quad (5)$$

и

$$\rho_2 = \frac{urk \sin \alpha}{ur \sin \alpha \cos \alpha + k}. \quad (6)$$

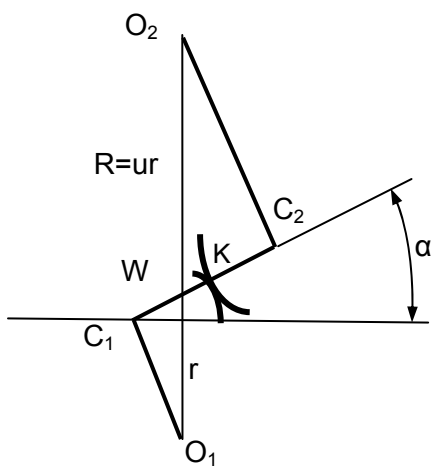


Рис. 1. Эвольвентное зацепление

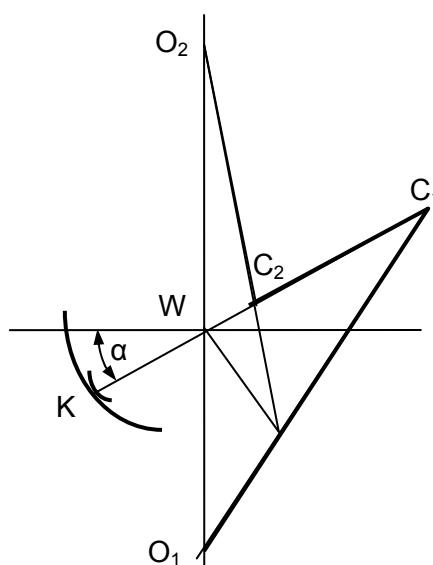


Рис. 2. Эволютное зацепление

В формулах (5) и (6) уже учтено отрицательное направление радиуса  $R = ur$ . Тогда, применяя формулу (2), получим значение приведенного радиуса кривизны в полюсе передачи с эволютным зацеплением, которому присущ выпукло-вогнутый контакт:

$$\rho_{np} = \frac{ur \sin \alpha}{u - 1}. \quad (7)$$

Если для эвольвентного зацепления радиус кривизны в полюсе передачи вычисляется по формуле

$$\rho_{np} = \frac{ur \sin \alpha}{u + 1}, \quad (8)$$

то формула (7) показывает, что значение  $\rho_{пр}$  для эволютного зацепления в  $\left\{u + \frac{1}{u-1}\right\}$  раз больше, а это позволяет значительно снизить контактные напряжения в полюсе передачи [5]. Степень снижения напряжений зависит от передаточного числа  $u$ .

Приведенный радиус кривизны в эволютном зацеплении (с выпукло-вогнутым контактом рабочих поверхностей) определится по формуле (3), которая будет иметь вид

$$\rho_{пр} = \frac{(\rho_1 + \ell)(\rho_2 + \ell)}{\rho_2 - \rho_1}. \quad (9)$$

На основании проведенных исследований построим график (рис. 3) зависимости приведенного радиуса кривизны от вида контактирования.

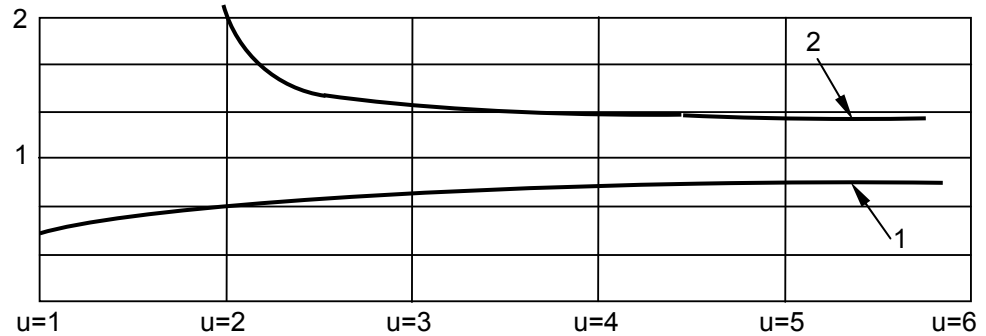


Рис. 3 Изменение приведенного радиуса кривизны для разных передаточных чисел в зависимости от вида контактирования (1 – двояковыпуклый контакт; 2 – выпукло-вогнутый контакт)

Выводы. 1. Получена универсальная формула для приведенного радиуса кривизны независимо от вида контакта и линии зацепления.

2. Сделано пояснение, почему для выпукло-вогнутого контакта следует применять формулу (3).

3. Показана эффективность применения эволютного зацепления с точки зрения снижения контактных напряжений.

#### Литература

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука. – 1968. – 584 с.
2. Litvin F.I. Theory of Gearing. Nasa Reference Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. – С-035. – Washington, D.C. – 1989. – 620 p.
3. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100 с.
4. Кириченко А.Ф., Павлов А.И. Некоторые аспекты проектирования и исследования зубчатых зацеплений. // Вісник Східноукраїнського університету ім. В.Даля. – №12(70). – Луганск. – 2003. – С. 10-14.
5. Vereš, M, Božanský, M., Gaduš, J. : Theory of Convex-concave and plane cylindrical gearing, Slovak university of technology in Bratislava, 180 pp, ISBN 80-227-2451-3.

**П.В.Колодяжный**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 12X18H10T  
СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК**

В статье приведены результаты исследований по изучению влияния механического и химического воздействия на величину как стационарного потенциала, так и потенциала зачищенного металла, а также на качество обрабатываемой поверхности и удельный сьем металла стали X18H10T. Рис.13, ист. 2.

Одним из наиболее доступных и экономически выгодных путей повышения производительности обработки деталей свободными абразивными частицами является применение химически активных растворов. Современные рабочие растворы являются многокомпонентными [1], в их состав входят добавки [2], имеющие целенаправленное действие.

В ранее проведенных исследованиях по виброобработке в химически активных растворах не учитывалось влияние режимов: амплитуды и частоты колебаний рабочей среды на качество поверхностного слоя, от которого зависят эксплуатационные свойства деталей. Данная работа является актуальной, так как направлена на разработку более совершенных режимов виброабразивной обработки, количественного и качественного состава рабочего раствора с целью повышения эффективности обработки поверхности для достижения высоких показателей ее качества, а, следовательно, и надежности эксплуатации изделия.

Количественной оценкой параметров технологии виброобработки свободными абразивами служит удельный сьем металла. Этот параметр функционально определяется влиянием переменных величин, основные из которых: амплитуда и частота колебаний резервуара виброустановки, размер гранул, объем загрузки, плотность обрабатываемого материала.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния режимов виброабразивной обработки (амплитуды и частоты колебаний резервуара), количественного и качественного состава рабочего раствора и химически активных добавок на интенсификацию обработки и качество поверхностного слоя стали 12X18H10T.

В соответствии с поставленной целью работы определены следующие задачи исследований:

1. Установить влияние количественного и качественного состава химически активных добавок на величину удельного съема металла и микрошероховатость поверхности стали 12X18H10T.
2. Установить влияние таких технологических параметров, как амплитуда и частота колебаний виброрезервуара, на величину потенциала в динамических условиях обработки.
3. Разработать технологию виброабразивной обработки изделий из стали 12X18H10T для получения высокого качества поверхности.

Для изучения электрохимических свойств поверхности стали 12X18H10T проводили потенциостатические исследования на образцах толщиной 2,0 мм прямоугольной формы, размером  $\approx 10 \times 10$  мм. Исследования проводились на потенциостате П-5848. Поляризацию электрода осуществляли со скоростью 0,017 В/мин. Анодные кривые снимались со значений потенциала, установившегося в течение 30 мин.

Качество обрабатываемой поверхности зависит от многих факторов. Для получения адекватной оценки полученных результатов, исследования проводили при таких технологических условиях: обработка осуществлялась на виброустановке ВМИ-1003, в и-образной рабочей камере емкостью 25 л, объем загрузки менялся и составлял 1/2 и 2/3 объема контейнера, режим колебаний – амплитуда 1,2÷3,5 мм, частота 42,5; 53 и 60 Гц; объем исследуемого раствора – 1 л; время обработки 1-3 часа. В качестве абразивных гранул использовался бой шарошлифовальных кругов КЧ-6ВТ-ЧТ грануляцией 5-50 мм. Исследования проводили на цилиндрических образцах с рабочей площадью 24 см<sup>2</sup> и на образцах прямоугольной формы, полученных после холодной деформации с общей площадью 49 см<sup>2</sup>.

Качественная и количественная оценка эффективности процесса виброобработки проводилась: по величине потенциала стали 12X18H10T, по удельному съему металла, а также по микрошероховатости поверхности в зависимости от состава рабочего раствора. Для получения количественных характеристик процесса обработки использовались: весовой анализ, рН-метрия, профилометрия, а также метод снятия поляризационных кривых.

С целью изучения влияния грануляции шлифовальных тел были проведены исследования по определению удельного съема металла в зависимости от размера гранул КЧ-6ВТ-ЧТ. Результаты исследований по влиянию размера гранул на величину удельного съема металла стали 12X18H10T представлены на рис. 1. Как видно (рис. 1), максимальный удельный съем металла достигается при грануляции шлифовальных тел 20-30 мм.

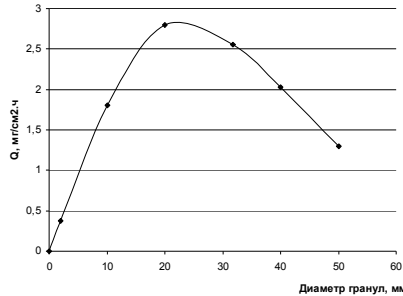


Рис.1. Зависимость удельного съема металла стали 12X18H10T от грануляции шлифовальных тел КЧ-6ВТ-ЧТ

Для выявления влияния амплитуды колебаний виброрезервуара, а также режущей способности абразивных частиц из различных материалов на степень обновления поверхности стали 12X18H10T в рабочем электролите на основе 0,5% раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  были проведены потенциостатические измерения величины потенциала стали 12X18H10T в зависимости от амплитуды колебаний виброрезервуара и размера гранул шлифовальных тел из различных материалов. Результаты исследований представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, максимальное смещение потенциала зачищенного металла стали 12X18H10T в отрицательную область достигается при использовании карбида кремния черного грануляцией зерен 20-35 мм при амплитуде колебаний виброрезервуара 3 мм.

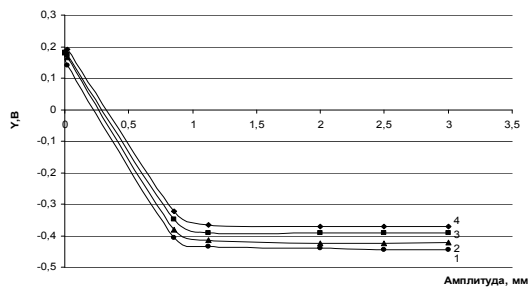


Рис. 2. Влияние амплитуды колебаний резервуара на величину потенциала зачищенного металла стали 12X18H10T при виброабразивной обработке в 0,5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при частоте 29 и 43 Гц:  
 1 - карбид кремния черный ( диаметр зерен 20-35 мм);  
 2 - минералокерамика ЦМ332 ( диаметр зерен 15-25 мм); 3-фарфоровые шары (диаметр зерен 5-7 мм); 4-пластмассовые призмы (диаметр зерен 10-20 мм)

Таким образом, такие факторы, как размер гранул, амплитуда и частота колебаний виброрезервуара, оказывают существенное влияние на величину удельного съема металла.

С целью изучения влияния рН среды на величину удельного съема металла, на формирование микрошероховатости поверхности, а также на величину потенциала стали 12X18H10T были проведены эксперименты на образцах с исходной шероховатостью поверхности, равной 0,28 мкм. Изменение рН достигалось путем подкисления воды сульфатной кислотой, а при подщелачи-

вании использовали раствор натрия гидроксида. Исследуемый диапазон pH от 1 до 12. Результаты экспериментальных исследований влияния pH раствора на удельный сьем металла приведены на рис. 3.

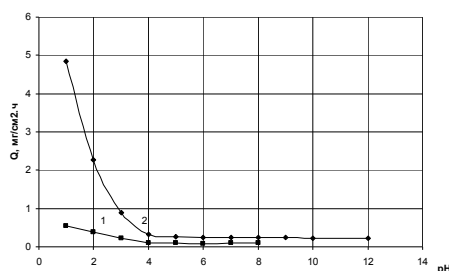


Рис. 3. Влияние pH среды на величину удельного съема стали 12X18H10T:  
1 - статические условия; 2 - динамические условия виброабразивной обработки  
( $A=3,5$  мм,  $w=43$  Гц)

Как видно (рис. 3), удельный сьем в динамических условиях приблизительно на порядок выше, чем в статических условиях. В кислых растворах (pH=1-2) виброабразивный сьем нержавеющей стали выше в динамических условиях по сравнению со статическими условиями. Это может быть связано с тем, что непрерывная виброабразивная зачистка способствует удалению с поверхности металла, выделяющегося водорода. Следовательно, виброабразивную обработку стали 12X18H10T необходимо осуществлять в сильноокислых растворах кислот.

С целью изучения влияния режима обработки (амплитуды и частоты колебаний резервуара) на величину удельного съема и качество поверхностного слоя были проведены исследования по виброобработке стали 12X18H10T в различных химически активных растворах. Результаты исследований представлены на рис. 4.

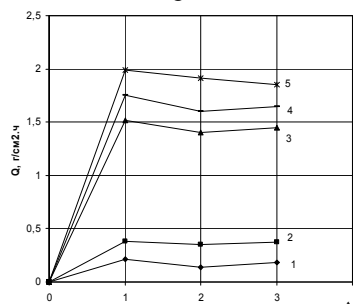


Рис. 4. Зависимость удельного съема металла стали 12X18H10T от продолжительности обработки:  
1 – H<sub>2</sub>O; 2 – HNO<sub>3</sub> (1,4%) + HCl (0,6%) – режим:  $A=1,2$  мм;  $wf=53$  Гц;  
3 – 3% раствор соды; 4 - H<sub>2</sub>O; 5 - HNO<sub>3</sub> (1,4%) + HCl (0,6%) – режим:  $A=3,5$  мм;  $w=63$  Гц

Полученные данные позволили выявить общие закономерности процесса виброабразивной обработки, заключающиеся в том, что максимальный удельный сьем металла стали 12X18H10T достигается в течение первого часа. Это связано со значительным изменением макро- и микрогеометрии поверхности. Непрерывная доставка химических реагентов к поверхности раздела фаз приводит к сошлифовыванию микровыступов и образованию участков чистого металла, одновременно происходит растворение металла в местах, недоступных воздействию абразивных частиц (микровпадинах, порах, трещинах). В течение 2-х последующих часов обработка осуществляется при установившейся микрошероховатости поверхности. Поэтому удельный сьем металла после часовой обработки происходит с постоянной скоростью в течение последующих 2 часов. Увеличение частоты колебаний в 1,5 раза при обработке в растворе HNO<sub>3</sub> (1,4%) + HCl (0,6%) приводит к увеличению удельного съема металла в 3 раза (кривая 5 и 6 рис.4). При увеличении амплитуды в 3 раза и в 1,2 раза частоты колебаний резервуара происходит увеличение удельного

сьема металла в 5-7 раз (кривые 2 и 5) и (кривые 1 и 4 рис. 4). Результаты по определению микрошероховатости поверхности стали 12X18H10T после часовой обработки в растворе на основе нитратной и хлоридной кислот представлены на рис. 5. Как видно из рис. 5, наиболее оптимальным соотношением является соотношение кислот 2:1  $\text{HNO}_3$  (1,4%) +  $\text{HCl}$  (0,6%) и режим  $A = 3,5$  мм;  $w = 42,5$  Гц.

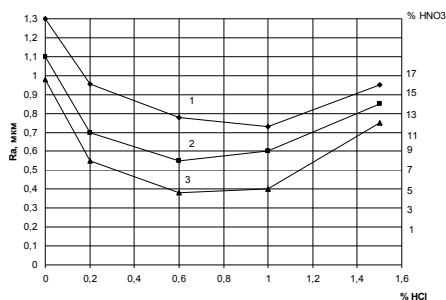


Рис. 5. Изменение микрорельефа поверхности стали 12X18H10T в зависимости от изменения концентраций минеральных кислот: 1 –  $A = 3,5$  мм;  $w = 63$  Гц; 2 –  $A = 3,5$  мм;  $w = 53,3$  Гц ; 3 –  $A = 3$  мм ;  $w = 42,5$  Гц

При виброабразивной обработке не вся поверхность изделия подвергается зачистке, а только какая-то ее часть. Количественно величину зачистки поверхности можно характеризовать по величине отрицательного потенциала. Результаты исследований по определению величины отрицательного потенциала от характера среды представлены на рис. 6.

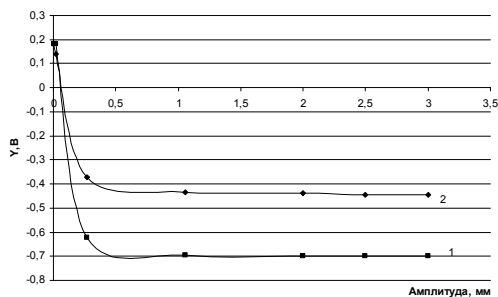


Рис. 6. Влияние амплитуды колебаний резервуара на величину потенциала зачищенного металла стали 12X18H10T при часовой виброабразивной обработке в различных растворах: 1 - 0,5%  $\text{HNO}_3$ ; 2 - 0,5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Как видно (рис. 7), максимальное смещение потенциала в отрицательную область стали 12X18H10T достигается в 0,5% растворе нитратной кислоты. Следовательно, при увеличении концентрации нитратной кислоты в динамических условиях обработки будет приводить к увеличению величины смещения потенциала стали в отрицательную область, а, следовательно, и к увеличению удельного съема металла.

С целью выяснения кинетики и механизма растворения нержавеющей стали в 1-60% растворах нитратной кислоты исследовалось коррозионное и электрохимическое поведение стали. Экспериментально это осуществлялось следующим образом. Образцу с подготовленной поверхностью после установления в ячейку-резервуар с исследуемыми растворами нитратной кислоты и наложения вибраций задавали определенный потенциал, значения которого в течение опыта поддерживалось постоянным потенциостатом П-5848. Время выдержки образцов при каждом потенциале составляло 60 минут. По количеству растворившегося во время опыта металла весовым методом рассчитывалась скорость растворения стали при данном значении потенциала. Полученная зависимость удельного съема металла от его потенциала представлена на рис. 7.

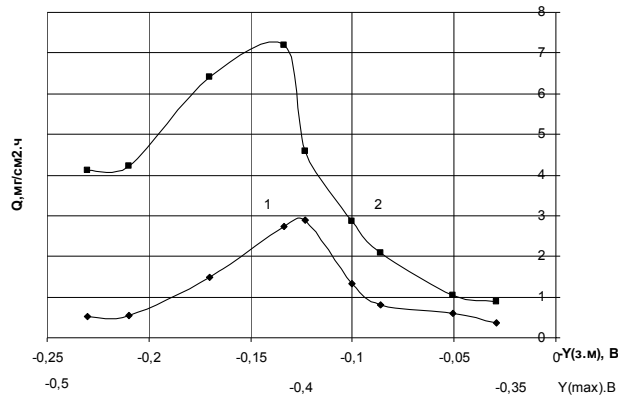


Рис. 7. Зависимость между удельным съемом металла стали 12X18H10T и ее потенциалом в растворах нитратной кислоты (0,5-60%): 1- режим  $A = 3,5$  мм;  $w = 42,5$  Гц; 2 - при 100% зачистке поверхности металла

Как видно из рис. 7, максимальное значение удельного съема в условиях виброобработки по режиму  $A = 3,5$  мм;  $w = 42,5$  Гц достигается при смещении потенциала стали в отрицательную область до значений  $-0,12$  В. Дальнейшее смещение потенциала в отрицательную область приводит к снижению удельного съема металла. Следует предположить, что при потенциале  $-0,12$  В достигается максимально возможная при исследуемых режимах степень зачистки поверхности, и дальнейшее смещение потенциала в отрицательную область приводит к катодной защите стали. При минимальном смещении потенциала в отрицательную область ( $-0,05$ - $0,1$ В) минимальный съем металла обусловлен меньшей площадью зачищенной поверхности из-за слабой концентрации нитратной кислоты.

На рис. 8 приведены экспериментальные данные по влиянию концентрации нитратной кислоты на удельный съем металла стали 12X18H10T.

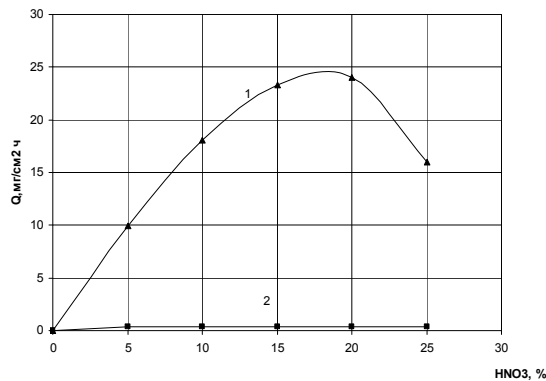


Рис. 8. Зависимость съема металла стали 12X18H10T от концентрации нитратной кислоты в статических и динамических условиях виброобработки: 1 - статические условия; 2 -виброобработка ( $A = 1.2$  мм,  $w = 55$ Гц)

При увеличении концентрации нитратной кислоты (30-40%) проявляются окислительные свойства  $HNO_3$ , поэтому уменьшение удельного съема металла обусловлено как прочностными свойствами оксидных пленок, так и различиями в скорости их образования и сошлифовывания.

Для выявления механизма воздействия комплексных соединений: двойной соли  $KF.HF$  и  $K_3[Fe(CN)_6]$  на качество поверхности стали 12X18H10T в рабочем растворе на основе смеси минеральных кислот были проведены потенциостатические исследования, электрохимического поведения нержавеющей стали. На рис. 9 приведены анодные кривые растворения стали в различных растворах.

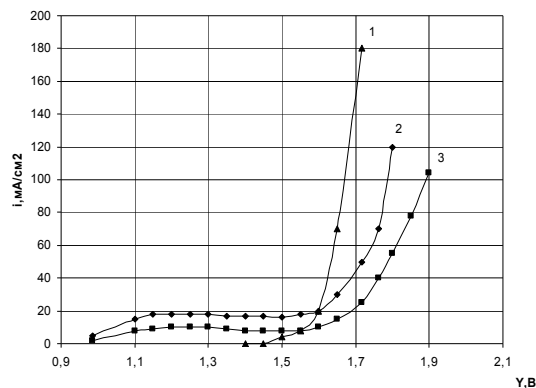


Рис. 9. Анодные кривые растворения стали 12X18H10T в растворах электролитов:  
 1 –  $\text{HNO}_3$  (1,4%) +  $\text{HCl}$  (0,6%); 2 -  $\text{HNO}_3$  (1,4%) +  $\text{HCl}$  (0,6%) с 0,1%  $\text{KF.HF}$ ;  
 -  $\text{HNO}_3$  (1,4%) +  $\text{HCl}$  (0,6%) с 0,5%  $\text{KF.HF}$

Наиболее активное растворение стали осуществляется в растворе на основе нитратной (1,4%) и хлоридной кислот (0,6%) (2:1). Добавление в раствор двойной соли меняет характер растворения стали. Особенностью процесса является смещение потенциала в отрицательную область, сужение области пассивного состояния, а также снижение тока анодного растворения от 120 до 105  $\text{mA/cm}^2$ . Известно, что  $\text{KF.HF}$  образует с никелем прочное комплексное соединение на поверхности стали, которое в динамических условиях удаляется с поверхности. Результаты исследований съема металла стали 12X18H10T в рабочем растворе на основе смеси нитратной (1,4%) и хлоридной кислот (0,6%) (2:1) с добавками  $\text{KF.HF}$  приведены на рис. 10.

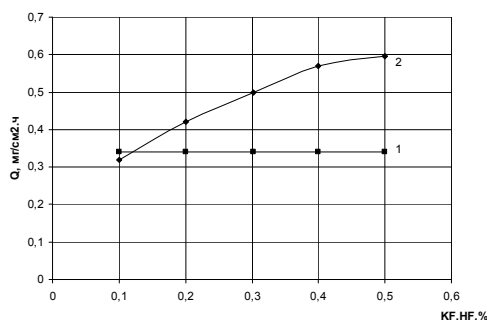


Рис. 10. Зависимость удельного съема металла стали 12X18H10T в растворах электролитов режим обработки:  $A = 1,2$  мм;  $w = 53$  Гц;  
 1 -  $\text{HNO}_3$  (1,4%)+  $\text{HCl}$  (0,6%); 2 -  $\text{HNO}_3$  (1,4%)+  $\text{HCl}$  (0,6%)+ $\text{KF.HF}$

Из рис. 10 видно, что при увеличении содержания  $\text{KF.HF}$  с 0,1 до 0,5%, удельный съем металла увеличивается с 0,3 до 0,5  $\text{mg/cm}^2 \cdot \text{ч}$ .

В сточных водах после часовой обработки стали в растворе на основе нитратной (1,4%) и хлоридной кислот (0,6%) (2:1) обнаружены ионы никеля, которые являются катализатором коррозионных процессов. Поэтому с целью защиты от растворения микровпадин, образующихся царапин от абразивных зерен и снижения каталитической активности ионов никеля, проведены исследования по влиянию гексациано-(III)феррата калия -  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  на качество поверхностного слоя и электрохимическое поведение стали 12X18H10T.

При потенциостатических исследованиях установлено, что при добавлении 1,5%  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  к рабочему раствору на основе нитратной (1,4%) и хлоридной кислот (0,6%) (2:1) приводит к смещению потенциала от 1,5 до 0,5 мВ. Анодный ток растворения увеличивается с 180 до 220  $\text{mA/cm}^2$  (рис. 11).

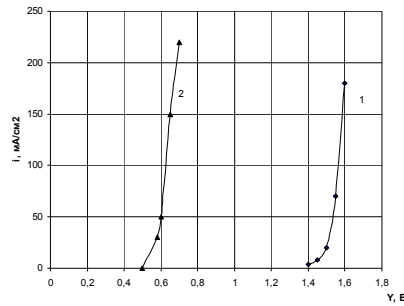


Рис. 11. Анодные потенциостатические кривые стали 12X18H10T в химически активных растворах: 1 - в растворе 1,4%  $\text{HNO}_3$  + 0,6%  $\text{HCl}$ ; 2 - в растворе 1,4%  $\text{HNO}_3$  + 0,6%  $\text{HCl}$  + 1,5%  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Результаты исследований зависимости удельного съема металла в рабочем растворе от содержания добавки -  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  представлены на рис. 12.

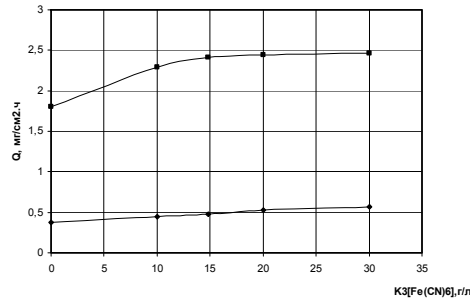


Рис. 12. Зависимость удельного съема металла стали 12X18H10T в растворах  $\text{HNO}_3$  (1,4%)  $\text{HCl}$  (0,6%) с добавкой  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ : 1 -  $A = 1,2\text{мм}$ ;  $w = 53\text{Гц}$ ; 2 -  $A = 3,5\text{мм}$ ;  $w = 60\text{Гц}$

Контроль качества формирующейся поверхности после виброабразивной в рабочем растворе с различным количеством  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и  $\text{KF.HF}$  осуществлялся по такому показателю, как микрошероховатость. Результаты по определению микрошероховатости представлены на рис. 13.

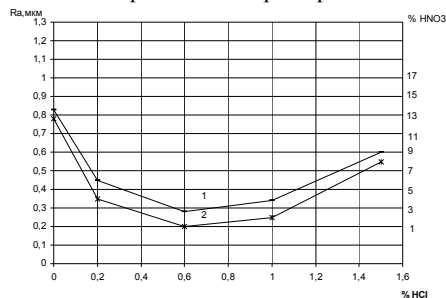


Рис. 13. Изменение микрорельефа поверхности стали 12X18H10T в зависимости от изменения концентраций минеральных кислот: 1- 0,5%  $\text{KF.HF}$ ; 2 - 2%  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Из рис. 13 видно, что с увеличением продолжительности обработки шероховатость поверхности снижается. При увеличении времени обработки свыше одного часа качество поверхности ухудшается. Следовательно, получить высокое качество поверхности стали 12X18H10T можно в растворе такого состава: 1,4%  $\text{HNO}_3$  + 0,6%  $\text{HCl}$  с добавкой 0,5%  $\text{KF.HF}$  и 2%  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

Выводы. 1. Электрохимическое поведение стали 12X18H10T при виброобработке определяется изменением состояния поверхности металла при смещении его потенциалов от стационарного до потенциалов зачищенного металла, которое зависит как от механического, так и химического воздействия. Экспериментально установлено, что величина удельного съема и микрошеро-

ховатость поверхностного слоя зависят от размера гранул, их режущей способности, амплитуды и частоты колебаний абразивных частиц. При увеличении амплитуды колебаний резервуара в 3 раза происходит увеличение удельного съема металла в 2 раза. При увеличении частоты колебаний виброрезервуара в 1,5 раза удельный съем увеличивается в 3 раза.

2. Установлено, что активирование растворения сталей при виброабразивной обработке осуществляется в некотором интервале потенциалов. Границы активирования процесса определяются природой обрабатываемого материала и зависят от окислительных свойств электролита.

3. Установлена зависимость между величиной смещения потенциала стали 12Х18Н10Т в отрицательную область и такими параметрами, как удельный съем металла и микрошероховатость поверхности. Показано, что характер продуктов реакции, образующихся на поверхности стали от воздействия химически активной среды, влияет на структуру, толщину и механическую прочность защитной пленки, а, следовательно, и скорость обновления поверхности при виброабразивном шлифовании.

4. В области потенциалов активного растворения в окислительной среде образуется рыхлая пористая пленка, легко удаляемая механически. Скорость образования и удаления защитной пленки равны. В пассивной области пленка уплотняется и приобретает защитные свойства, что снижает скорость растворения металла и приводит к формированию микрорельефа поверхности в основном действием абразивного материала.

5. Оптимальные результаты по величине удельного съема металла и микрошероховатости поверхности при виброобработке могут быть получены в электролите, качественный состав которого включает окислитель, активатор и комплексообразователь, что достигается присутствием ионов  $H^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$  и  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. Димов Ю.В., Высоцкая А.В., Лобова Л.П. Интенсификация обработки свободными абразивными частицами с применением полимерсодержащих технологических жидкостей // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструментов / Пензенский политехнический институт. - Пенза, 1990. - Вып. 18. - С. 62-66.
2. Колодяжный П.В., Корнеев С.В., Ясунник С.Н. Исследование влияния поверхностно-активных веществ при виброабразивной обработке сталей в кислых электролитах // Вісник Східноукр. нац. університету ім. В. Даля. - Луганськ, 2006. - Ч.1. - №6. - С. 156-160.

УДК.621.867

**М.О.Пронін, В.С.Заїка**

#### **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕПРИВОДНИХ КОНВЕЄРІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ З НАХИЛЕНИМИ ЦИЛІНДРИЧНИМИ КАНАЛАМИ**

Викладено методику розрахунку основних параметрів неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами. Рис. 1, табл. 1, дж. 3.

Неприводні конвеєри на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами (рис. 1) відносяться до спеціальних видів промислового транспорту і можуть бути використані для міжопераційної передачі виробів в процесі поточного виробництва, для переміщення вантажів на складах і терміналах як транспортуючі органи в гартувальних, нагрівальних, обпалювальних, сушильних печах та охолоджувальних камерах безперервної дії, а також як конвеєри-розподільники рухомих складів та накопичувальних секцій.

У порівнянні зі звичайними конвеєрами неприводні конвеєри на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами завдяки відсутності тягового органу а також приводу, що його рухає, мають певні переваги, до яких, зокрема, належать: простота конструкції, надійність, безшумність, безпека експлуатації у вибухонебезпечному середовищі, можливість поєднання процесів переміщення та теплової обробки вантажів. Крім того, ці конвеєри, на відміну від неприводних конвеєрів на повітряній подушці з вертикальними циліндричними каналами, не потребують нахиленого розташування вантажонесучої поверхні, що зменшує їх габаритні розміри, усуває обмеження відносно можливої довжини, забезпечує можливість створення горизонтально-замкненої траси, дозволяє змінювати напрям руху вантажів на протилежний, дає змогу здійснювати проміж-

не розвантажування конвеєра без залучення допоміжних пристроїв та виключає необхідність додаткового підйому вантажів в процесі їхнього завантаження на конвеєр, а також пов'язані з цим додаткові витрати енергії.

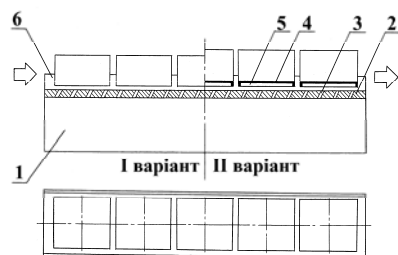


Рис. 1. Неприводний конвеєр на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами: 1 - ресивер; 2 - сопловий пристрій; 3 - канал; 4 - піддон; 5 - пазуха; 6 - спрямовуючий борт

Однак, незважаючи на наявність переваг, а також можливої галузі застосування, широко розповсюдження неприводні конвеєри на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами не мають, однією із причин цього є відсутність науково обґрунтованих методів розрахунку такого роду транспорту. Тому розробка методики розрахунку неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами є актуальним науковим завданням, вирішення якого дозволить успішно використовувати ці конвеєри на виробництві, що сприятиме економії матеріальних та енергетичних ресурсів промислових підприємств.

Запропонована методика може бути використана при розрахунку неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами, що призначаються для переміщення штучних вантажів суцільним потоком.

Вихідними даними для розрахунку неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами є:

- погодинна продуктивність конвеєра  $Z$ ;
- довжина траси конвеєра  $L$ ;
- ширина вантажу (піддона)  $b$ ;
- довжина вантажу (піддона)  $l$ ;
- вага вантажу (з піддоном)  $G$ .

В результаті розрахунку визначаються:

- тиск повітря в ресивері  $P_0$ ;
- витрата повітря в ресивері  $Q_0$ ;
- витрати гідравлічної потужності  $N_0$ .

Величина повітряного зазору між опорною поверхнею вантажу і поверхнею соплового пристрою  $h$ , необхідна для забезпечення переміщення вантажу неприводним конвеєром на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами, визначається виходячи з умови руху вантажу конвеєром [1]:

$$64 \frac{(H+h)^2}{d^2} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right]^2 \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1 b^2 l^2} h^2 \sin \varphi +$$

$$\left( 1 + 64 \frac{(H+h)^2}{d^2} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right]^2 \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1 b^2 l^2} h^2 \cos \varphi + \right.$$

$$+ 2 \left\{ 1 - 16 \frac{(H+h)^2}{d^2} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right]^2 \right\} \left\{ \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1 b^2 l^2} h^2 / \cos \varphi \right\} =$$

$$= 0,0008 + 0,3e^{-\frac{6h}{\Delta}} + \frac{z^2 l^2}{6,48 \cdot 10^6 Lg},$$

де  $H$  - глибина пазухи в тілі вантажонесучого елемента, що становить 0...1 мм;  $d$  - діаметр каналів, що дорівнює 2...4 мм;  $\bar{S}_1$  - відносна площа каналів, що становить 0,5...1,0 %;  $\varphi$  - кут нахилу каналів до вертикалі, що дорівнює 10...30°;  $\Delta$  - висота нерівностей поверхні соплового пристрою, що при використанні в якості конструкційного матеріалу сталевого листа завтовшки 3...4 мм дорівнює  $\approx 0,35$  мм (СЕВ 3919-82);  $g$  - прискорення вільного падіння.

Згідно з [2], при транспортуванні вантажів шириною 0,2...1,0 м, довжиною 0,2...1,0 м, вагою 1...1000 Н на відстань 10...100 м із продуктивністю 100...1000 шт/год оптимальні відносно ефективності переміщення значення діаметра каналів, кута нахилу каналів, відносної площі каналів та глибини пазухи в тілі вантажонесучого елемента становлять 2 мм, 30°, 1 % та 1 мм відповідно.

Одержане рівняння розв'язують завдяки стандартним комп'ютерним програмам або графічно.

Коефіцієнт підйомної сили [2]:

$$c_y = \frac{1}{1 + 2 \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1^2 b^2 l^2} h^2} + \frac{64 \frac{(H+h)^2}{d^2} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right]^2 \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1 b^2 l^2} h^2 \cos \varphi}{1 + 2 \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1^2 b^2 l^2} h^2} +$$

$$+ \frac{2 \left\{ 1 - 16 \frac{(H+h)^2}{d^2} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right]^2 \right\} \left\{ \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1 b^2 l^2} h^2 / \cos \varphi \right\}}{1 + 2 \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1^2 b^2 l^2} h^2}.$$

Коефіцієнт витрати повітря [2]:

$$\alpha = \frac{4\sqrt{2} \frac{H+h}{d} \left[ 1 - 2 \frac{H+h}{d} \left( 1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h}} \right) \right] \frac{b+1}{\bar{S}_1} h}{\sqrt{1 + 2 \frac{(b+1)^2}{\bar{S}_1^2 b^2 l^2} h^2}}.$$

Тиск повітря в ресивері:

$$p_0 = \frac{G}{S c_y},$$

де  $S = bl$  - площа опорної поверхні вантажу.

Витрата повітря, що необхідна для створення під вантажем повітряної подушки,

$$Q = \alpha \bar{S}_1 S \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}},$$

де  $\rho$  - густина повітря, що визначається згідно табл. 1.

Густина повітря за різної температури

Температура повітря, °С	Густина повітря $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
від -40 до -30	1,5
від -30 до -10	1,4
від -10 до +10	1,3
від +10 до +35	1,2
від +35 до +65	1,1

Витрата повітря в ресивері :

$$Q_0 = Qn,$$

де  $n \approx \frac{L}{1} + 1$  - кількість розташованих на конвеєрі вантажів.

Витрати гідравлічної потужності :

$$N_0 = p_0 Q_0.$$

Розрахунок повітродувної машини здійснюють згідно з [3].

Висновки. 1. Наведено розрахункові залежності для визначення основних параметрів процесу переміщення вантажів неприводними конвеєрами на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами.

2. Дано рекомендації щодо вибору оптимальних з точки зору ефективності переміщення вантажів конструктивних характеристик неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами.

#### Література

1. Турушин В.О., Пронін М.О. Умова руху вантажів неприводними конвеєрами на повітряній подушці з нахиленими живильними каналами // Вісник СХУ ім. Володимира Даля, 2007. - № 6 (112). - С. 216 - 220.
2. Турушин В.О., Пронін М.О. Аналіз ефективності переміщення вантажів неприводними конвеєрами на повітряній подушці з нахиленими живильними каналами // Вісник СХУ ім. Володимира Даля, 2007. - № 3 (109). Ч. 2.- С. 172-176.
3. Меклер В.Я., Овчинников П.А., Агафонов Е.И. Вентиляция и кондиционирование воздуха на машиностроительных заводах.- М.: Машиностроение, 1980. - 336 с.

УДК 621.922

**В.Д.Рудь, Т.Є.Божко**

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ СПЕЧЕНИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ**

Наведено методику прогнозування шорсткості поверхні спечених порошкових матеріалів після шліфування. Встановлено імперичну залежність для визначення шорсткості поверхні з уточненими коефіцієнтами від параметрів, що на неї впливають, та побудовано графічні залежності. Рис.1, табл. 2, дж. 4.

Шорсткість оброблюваної поверхні деталі є одним з основних показників якості продукції. Від неї залежить експлуатаційні характеристики деталі. Питанням визначення шорсткості поверхні під час шліфування компактних матеріалів займалися багато вчених, серед них П.Г.Алексеев, А.Н.Резников, А.В.Якимов [1, 2, 3] та інші. Однак, визначення шорсткості поверхні при шліфуванні порошкових матеріалів з пористістю 20-40% наразі ще мало вивчені.

**Метою роботи** є експериментальне обґрунтування математичної моделі для визначення шорсткості поверхні при шліфуванні пористих порошкових матеріалів, а також підтвердження адекватності отриманої математичної моделі реальному технологічному процесу.

Основні фактори, що впливають на шорсткість при шліфуванні пористого матеріалу, залежать від подачі  $S$ , швидкості шліфування  $V$ , пористості матеріалу  $\theta$ :

$$Ra = f(S, V, \theta). \quad (1)$$

У першому наближенні функцію (1) можна зобразити у такому виді:

$$Ra = C \cdot S^a \cdot V^b \cdot \theta^c, \text{ мкм}. \quad (2)$$

Необхідно зазначити, що математична модель не описує систему в цілому, а лише окремі комплекс факторів, які є визначальними при шліфуванні пористих порошкових матеріалів.

В логарифмічному представленні рівняння (2) буде поліномом першого степеня:

$$\ln Ra = \ln C + a \ln S + b \ln V + c \ln \theta. \quad (3)$$

При переході до безрозмірних величин у загальному вигляді рівняння (3) запишемо:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3. \quad (4)$$

Експерименти проводили, використовуючи методику багатофакторного аналізу [4], тобто одночасного варіювання усіх змінних факторів,  $x_1(S)$ ,  $x_2(V)$ ,  $x_3(\theta)$ . Визначали невідомі  $b_0$  і коефіцієнти  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ . Кожна з цих змінних варіюється на двох рівнях ( $2^k$ ), де  $k$  – число змінних. Експерименти проводились на зразках із порошоків заліза марки ПЖР-3. Для дослідів використовувались зразки пористістю 24%, 28% та 32%, які виготовлялись методом гідростатичного формування та спікались при температурі 1050 °С в захисному середовищі. Шліфування зразків проводилося без охолодження на універсальному плоскошліфувальному верстаті марки 3Г71. Застосовувався шліфувальний круг марки 24А20СМ2К.

План дванадцяти дослідів передбачав дві серії по шість дослідів в кожній – шість основних і шість додаткових. Вибір режимів обробки проводився таким чином, щоб спростити кодування [4] із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів обробки, як це показано в табл. 1. Ці рівні закодовані за допомогою рівнів перетворення таким чином, щоб верхній рівень відповідав +1, а нижній –1.

Таблиця 1

**Режими шліфування і кодові позначення**

Рівень	Режими шліфування			Кодові позначення		
	S, мм/хід	V, м/хв	$\theta$ , %	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхній	0,4	12	32	1	1	1
Середній	0,3	9	28	0	0	0
Нижній	0,2	6	24	-1	-1	-1

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln S - \ln 0,4)}{(\ln 0,4 - \ln 0,2)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln V - \ln 12)}{(\ln 12 - \ln 6)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln \theta - \ln 32)}{(\ln 32 - \ln 24)} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В табл. 2 наведено результати 12 дослідів з шліфування зразків із порошоків заліза марки ПЖР-3. Заміри шорсткості поверхні проводились на приладі "Surtronic" (Taylor-Hobson, Англія), шорсткість контролювалась за параметром Ra на базовій довжині 0,8 мм. За кожною серією проводилося по 3 досліді і у табл. 2 наведено їхнє середнє значення.

Умови різання, кодові значення і шорсткість поверхні

№ п/п	№ серії	Умови і режими шліфування			Кодові позначення			R <sub>a</sub> , мкм	y=lnRa
		S, мм/хід	V, м/хв	θ, %	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	0,2	6	24	-1	-1	-1	0,48	-0,73
2	1	0,4	6	24	1	-1	-1	0,67	-0,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	0,2	12	24	-1	1	-1	0,55	-0,59
4	2	0,4	12	24	1	1	-1	0,71	-0,34
5	1	0,2	6	32	-1	-1	1	0,81	-0,21
6	2	0,4	6	32	1	-1	1	0,87	-0,14
7	2	0,2	12	32	-1	1	1	0,79	-0,23
8	1	0,4	12	32	1	1	1	0,94	-0,06
9	1	0,3	9	28	0	0	0	0,72	-0,33
10	1	0,3	9	28	0	0	0	0,72	-0,33
11	2	0,3	9	28	0	0	0	0,72	-0,33
12	2	0,3	9	28	0	0	0	0,72	-0,33

**Оцінка параметрів.** На основі результатів дослідів оцінювали чотири коефіцієнти в емпіричній формулі (4) використовуючи метод найменших квадратів і властивості скалярного добутку основних векторів.

Згідно способу найменших квадратів необхідно, щоб сума квадратів відхилень фактичних значень  $y$  від формальних, отриманих за рівнянням (5)  $y_{x_1, x_2, x_3}$ , була найменшою, тобто:

$$\sum (y - y_{x_1, x_2, x_3})^2 = \min \quad (6)$$

Ліву частину виразу (4) позначимо буквою  $f$  ( $f$  – функція від невідомих параметрів  $b_0, b_1, b_2, b_3$ ).

Мінімум цієї функції знаходили із рівнянь:

$$\frac{df}{db_0} = 0; \quad \frac{df}{db_1} = 0; \quad \frac{df}{db_2} = 0; \quad \frac{df}{db_3} = 0 \quad (7)$$

Продиференціювавши, запишемо систему цих рівнянь, в кінцевому виді матимемо:

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_3 \sum x_3; \\ \sum yx_1 &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 + b_3 \sum x_1x_3; \\ \sum yx_2 &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_2x_1 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2x_3; \\ \sum yx_3 &= b_0 \sum x_3 + b_1 \sum x_3x_1 + b_2 \sum x_3x_2 + b_3 \sum x_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Рівняння (6) дають можливість визначити

$$b_0 = \frac{\sum y}{n} \quad (9)$$

де  $n$  – число дослідів;  $n=6$ .

$$b_1 = \frac{\sum yx_1}{\sum x_1^2} = \frac{\sum yx_1}{4}; \quad b_2 = \frac{\sum yx_2}{\sum x_2^2}; \quad b_3 = \frac{\sum yx_3}{\sum x_3^2} = \frac{\sum yx_3}{4} \quad (10)$$

Необхідно додати, що інші члени рівнянь (8) дорівнювали нулю, оскільки вектори  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  є ортогональними і  $\sum x_i = 0$ .

З іншого боку, для визначення коефіцієнтів  $b_0 \dots b_3$  можна використати матриці  $(x'x)$  і  $(x'x)^{-1}$ :

$$x'x = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} \quad (x'x)^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Залежності для визначення коефіцієнтів  $b_0 \dots b_3$  згідно з рівняннями (11) будуть мати вид:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= 1/6(y_2 + y_3 + y_5 + y_8 + y_9 + y_{10}) \\ b_1 &= 1/4(y_2 - y_3 - y_5 + y_8) \\ b_2 &= 1/4(-y_2 + y_3 - y_5 + y_8) \\ b_3 &= 1/4(-y_2 - y_3 + y_5 + y_8) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Тут індекси при  $y$  визначають номери дослідів (табл. 2).

Підставляючи в останні рівняння (12) результати дослідів із табл. 2, отримаємо:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{6}(-0,4 - 0,59 - 0,21 - 0,06 - 0,33 - 0,33) = -0,32; \\ b_1 &= \frac{1}{4}(-0,4 + 0,59 + 0,21 - 0,06) = 0,05; \\ b_2 &= \frac{1}{4}(0,4 - 0,59 + 0,21 - 0,06) = -0,01; \\ b_3 &= \frac{1}{4}(0,4 + 0,59 - 0,21 - 0,06) = 0,18. \end{aligned} \quad (13)$$

Таким чином, отримуємо формулу для визначення шорсткості поверхні при шліфуванні пористих порошкових матеріалів:

$$\ln Ra = -0,32 + 0,085x_1 - 0,01x_2 + 0,18x_3. \quad (14)$$

Формулу (14) необхідно записати згідно з рівняннями (5), тобто:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln S - \ln 0,4)}{(\ln 0,4 - \ln 0,2)} + 1 = \frac{2(\ln S + 0,91)}{(-0,91 + 1,6)} + 1 = 2,89 \ln S + 3,64; \\ x_2 &= \frac{2(\ln V - \ln 12)}{(\ln 12 - \ln 6)} + 1 = \frac{2(\ln V - 2,48)}{(2,48 - 1,79)} + 1 = 2,89 \ln V - 6,18; \\ x_3 &= \frac{2(\ln \theta - \ln 32)}{(\ln 32 - \ln 24)} + 1 = \frac{2(\ln \theta - 3,46)}{(3,46 - 3,17)} + 1 = 6,89 \ln \theta - 22,86. \end{aligned} \quad (15)$$

Підставляючи значення  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  в рівняння (14), отримали уточнену формулу для визначення логарифма шорсткості при шліфуванні:

$$\begin{aligned} \ln Ra &= -0,32 = 0,085(2,89 \ln S + 3,64) - 0,01(2,89 \ln V - 6,18) + 0,18(6,89 \ln \theta - \\ &- 22,86) = -4,06 + 0,25 \ln S - 0,03 \ln V + 1,24 \ln \theta \end{aligned}$$

Отже, кінцева формула для визначення шорсткості поверхні в процесі шліфування набуде виду:

$$Ra = \frac{S^{0,25} \cdot \theta^{1,24}}{e^{4,06} \cdot V^{0,03}} = 0,017 \frac{S^{0,25} \cdot \theta^{1,24}}{V^{0,03}} \quad (16)$$

На рис. 1 наведено співставлення розрахункових даних за формулою (16) і експериментальних результатів в залежності від подачі.

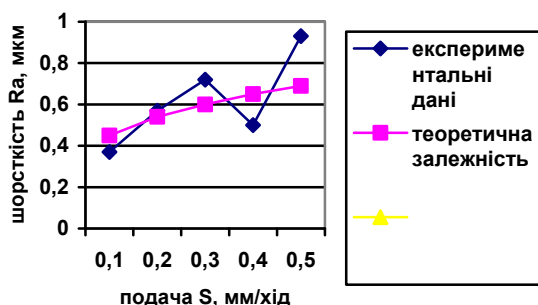


Рис. 1. Вплив подачі на шорсткість поверхні при  $V_d=9\text{м/хв}$ ,  $V_{кр}=35\text{м/с}$ ,  $t=0,02\text{мм}$ ,  $\theta=24\%$

Експериментальні дані показують (рис. 1), що при збільшенні подачі шорсткість обробленої поверхні збільшується. Отримана теоретична залежність підтверджує експериментальні результати.

**Висновки.** В результаті проведених серій із 12 дослідів було виведено математичну модель для визначення шорсткості поверхні при шліфуванні пористих порошкових матеріалів з уточненими коефіцієнтами за параметрів, що на неї впливають, та побудовано графічні залежності, а також підтверджено адекватність отриманої математичної моделі реальному технологічному процесу.

#### Л и т е р а т у р а

1. Алексеев П.Г. Влияние процесса резания на качество и износостойкость поверхностного слоя. – В кн.: Упрочнение деталей машин механическим наклепыванием. М.: «Наука», 1965. – С. 135-141.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н.Резникова. – М: Машиностроение, 1977. – 390 с.
3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М: Машиностроение, 1975. – 175 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971.

УДК 614.812

О.О.Колібабчук, М.А.Касьянов

#### УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВОК ПОЖЕЖОГАСІННЯ

У статті наведено схему установки порошкового пожежогасіння, що забезпечує вібраційну підготовку і транспортування вогнегасного порошку. Наведено математичне моделювання руху його суміші з повітрям у проточній частині установки і вібраційного відновлення плинності порошку. Рис. 1, дж. 25.

**Аналіз стану питання.** Технічний прогрес у будь-якій галузі промисловості тісно пов'язаний з проблемою пожежної безпеки. Він неминуче спричиняє збільшення ризику виникнення пожежі і можливого матеріального збитку. Згідно зі статистичними даними у Луганській обл. у 2004 р. кількість пожеж зросла на 32,56% в порівнянні з 2000 р. Прямі збитки від пожеж за цей період зросли на 52,7%. В Україні у 2004 р. сталося 47,67 тис. пожеж, збитки від яких становили більш ніж 90 млн гривень. За першу половину 2005 р. відбулося 24,04 тис. пожеж, що на 5,4% бі-

льше, ніж за цей же період 2004 р., а збитки від них зросли на 15,4%. Тому питання пожежної безпеки промислових об'єктів є важливим для господарського комплексу України [1].

В забезпеченні пожежної безпеки помітне місце займають установки порошкового пожежогасіння [2]. Незважаючи на це, їхнє застосування обмежене, тому що існує ймовірність відмовлення в роботі [3, 4]. Відмовлення відбуваються через недосконалість схем постачання робочим газом і підготовки порошку до транспортування. Відмовлення установок зі збереженням газу під тиском відбувається через витіки газу з балона чи резервуара установки. Наявність газу під тиском накладає особливі вимоги щодо монтажу, обслуговування і температурного режиму експлуатації установок. Це у певних випадках обмежує їхні функціональні можливості й галузь застосування. Існуючі схеми підготовки не забезпечують необхідної якості відновлення плинності порошку. Після підготовки в порошок міститься включення газових пухирів і грудок порошку, що приводить до порушення параметрів його витиснення з резервуара й транспортування по трубопроводу. Недостатня якість підготовки порошку знижує надійність і ефективність дії установок.

Нині виробники пожежної техніки поставляють на ринок України нові зразки установок порошкового пожежогасіння, які виготовлені за традиційними схемами постачання робочим газом і підготовки порошку до транспортування. У зв'язку з цим питання забезпечення якісної підготовки порошку і безвідмовної роботи установок залишилися не вирішеними [5, 6]. Тому створення установок пожежогасіння з більш досконаліми характеристиками технічних схем підготовки і транспортування вогнегасних порошоків є актуальними, що обумовило вибір теми дослідження.

**Постановка задачі.** Для удосконалення характеристик установок порошкового пожежогасіння необхідно було вирішити такі завдання:

- виконати аналіз структурних схем побудови установок порошкового пожежогасіння і їхніх основних характеристик;
- обґрунтувати і розробити структурну схему установки порошкового пожежогасіння на основі вібраційної підготовки і транспортування порошку відцентровою машиною;
- розробити математичні моделі вібраційної підготовки порошку, руху суміші порошку з повітрям у проточній частині установки і на ділянці доставки.

**Матеріали і результати дослідження.** Питанням розробки і удосконалення засобів порошкового пожежогасіння присвячено багато робіт [7...14], з яких найбільш значимими є дослідження М.Н. Ісаєва, А.Н. Баратова, В.В. Сєврікова, Н.В. Ісавніна, А.В. Антонова, В.А. Соболева. Роботи О.В. Дунюшкіна, О.О. Сізікова були спрямовані на удосконалення окремих вузлів установок. Однак поряд з цим структурні схеми підготовки порошку і постачання робочим газом зазнали мало змін.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що схеми підготовки порошку, застосовані в установках, не забезпечують отримання однорідної за складом і щільністю суміші порошку з робочим газом, що є причинами закупорки транспортного трубопроводу і відмовлення установок в роботі. Кількісною оцінкою виявлено, що схема постачання з балонами стиснутого газу технічно обмежує зниження інерційності установок і поліпшення якості підготовки порошку. Незважаючи на більш досконалі схеми постачання газом закачних установок і модулів з газогенеруючими зарядами, якість підготовки порошку в них є також низькою, через недосконалість схем підготовки порошку до транспортування.

На підставі виконаного аналізу запропоновано новий принцип побудови установок порошкового пожежогасіння, в основу якого покладено схему вібраційної підготовки і транспортування порошку [15...17] відцентровою машиною [18], яка наведена на рис. 1.

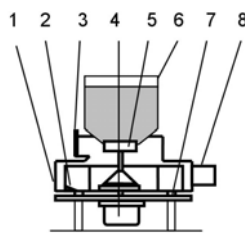


Рис. 1. Технічна схема установки порошкового пожежогасіння:

- 1 – відцентрова машина; 2 – робоче колесо з дебалансною масою;
- 3 – всмоктувальний патрубок; 4 – електродвигун; 5 – запірний клапан;
- 6 – бункер з порошком; 7 – плаваюча опора; 8 – нагнітальний патрубок

Основними вузлами установки є відцентрова машина і бункер з вогнегасним порошком. Запірний клапан випускного отвору бункера відкривається при обертанні вала робочого колеса відцентрової машини. Під дією вібрації бункера, яка збуджена дебалансною масою робочого колеса, відбувається руйнування структурних зв'язків в ущільненому порошку. Приведений у стан плинності він витікає з бункера на робоче колесо відцентрової машини. У міжлопаточних каналах робочого колеса порошок змішується з повітрям і під тиском надходить у розпилювальний насадок або транспортний трубопровід.

Моделювання руху суміші порошку з повітрям здійснювалося за спрощеною гідравлічною моделлю однорідного середовища, згідно якої рух розглядався як нерозривний і сталий, з врахуванням раніше висунутих вимог до цього процесу [19]. Спільним рішенням рівняння збереження витрат і інтегрального рівняння середньої швидкості витікання порошку отримано вираз для масової витрати бункера

$$G_n = \frac{S_6 2\lambda m_T \rho_0 \left( \sqrt{2gH_0^3} - \sqrt{2gh^3} \right)}{3(H_0 - h)}, \quad (1)$$

а розв'язком диференціального рівняння витоку – вираз для часу витікання

$$\tau = \frac{2}{r_6^2 \lambda m_T \sqrt{2g}} \left[ r_0^2 (\sqrt{H_0} - \sqrt{h_k}) + \sqrt{h_k} \left( r_6^2 + \frac{2}{3} r_6 h_k \operatorname{ctg} \alpha + \frac{1}{5} h_k^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha \right) \right]. \quad (2)$$

У виразах (1), (2)  $r_6$  – радіус випускного отвору, м;  $H_0$  – висота рівня порошку, м;  $h$  – поточне значення висоти рівня, м;  $h_k$  – висота конусної частини бункера, м;  $\lambda$  – коефіцієнт витоку;  $m_T$  – коефіцієнт плинності;  $\rho_0$  – насипна щільність порошку, кг/м<sup>3</sup>.

Для визначення характеристик відцентрової машини складено рівняння руху суміші порошку і повітря в проточному каналі установки

$$gdH_0 + \frac{1}{\rho_2} dp + \frac{1}{2} d(w^2) + \omega^2 r dr = 0 \quad (3)$$

і рівнянням збереження масових витрат

$$\rho_2 S_0 \alpha_{20} v_0 = \rho_2 S_B \alpha_{2B} w_B \sin \beta_B. \quad (4)$$

У рівнянні (3)  $\rho_2$  – щільність часток порошку, кг/м<sup>3</sup>;  $p$  – тиск повітря, Па;  $w$  – відносна швидкість, м/с;  $\omega$  – кутова частота обертання, 1/с;  $r$  – радіус каналу, м. У рівнянні (4)  $S_0$  – площа перетину бункера, м<sup>2</sup>;  $S_B$  – площа перетину вихідного каналу, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{20}$  і  $\alpha_{2B}$  – об'ємні концентрації порошку при насипній щільності й у суміші його з повітрям на виході з каналу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $\beta_B$  – кут виходу суміші, град.

Розв'язок рівняння (3) з урахуванням швидкості руху і рівня порошку у бункері дає вираз для відносної швидкості суміші на виході робочого колеса

$$w_B = \sqrt{\frac{2g}{1+\zeta} \left[ H_0 + \frac{1}{2g} \left( \frac{G_n}{\rho_0 S_0} \right)^2 + \frac{\omega^2 (r_B^2 - r_A^2)}{2g} \right]}, \quad (5)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт опору каналу,  $\rho_0$  – насипна щільність порошку,  $r_A$  і  $r_B$  – радіус входу і виходу каналу, м.

Розв'язком рівняння (4) дає вираз для визначення масової витрати суміші порошку з повітрям

$$G_n = \varphi \left( r_B - a \frac{z}{2\pi} \right) b w_B \sin \beta_B (\rho_{10} \alpha_{1B} + \rho_2 \alpha_{2B}), \quad (6)$$

де  $\varphi$  – кут розкриття каналу, град;  $a$  – товщина лопатки робочого колеса, м;  $z$  – кількість лопаток,  $b$  – висота лопаток, м;  $\rho_{10}$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{1B}$  – об'ємна концентрація повітря, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Рішенням рівняння руху суміші на вході і виході транспортного трубопроводу отримано вираз для його довжини

$$L = \frac{2g\rho_B[(\rho_1 - \rho_0) + (v_B^2 - v_H^2)]d_{\text{Э}}}{\xi\lambda\rho_B v_H^2}, \quad (7)$$

де  $\rho_B$  – щільність суміші, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – атмосферний тиск, Па;  $\rho_1$  – тиск на вході в трубопровід, Па;  $v_H$  – швидкість суміші на вході трубопроводу, м/с;  $d_{\text{Э}}$  – еквівалентний діаметр трубопроводу, м.

Для моделювання вібраційного відновлення плинності порошку прийнята фізична модель кругових коливань. У нерухомих горизонтальних координатах  $xOy$  кругові коливання установки описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = m_d\delta\omega^2 \cos \omega t \\ m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = m_d\delta\omega^2 \sin \omega t \end{cases} \quad (8)$$

де  $T$  – маса установки, що включає  $m_d$  масу дебаланса і  $m_1$  масу вузлів установки, кг;  $\delta$  – ексцентриситет дебалансної маси, м;  $\omega$  – кутова частота коливань, 1/с;  $b$  – коефіцієнт опору;  $c$  – жорсткість пружних зв'язків.

Рішення системи рівнянь (8) дає вираз амплітуди змущених коливань

$$A_B = \frac{m_d\delta}{m_1 + m_d}. \quad (9)$$

З умови рівноваги вібраційної сили і сили тиску порошку отримано вираз амплітуди коливань для приведення порошку в стан віброкипіння

$$A_P = \frac{P_k + P_{\text{ц}}}{m\omega^2}, \quad (10)$$

де  $P_{\text{ц}}$  і  $P_k$  – сили тиску порошку на циліндричну і конічну стінки бункера, Н.

Маса дебалансу робочого колеса визначена спільним розв'язком виразів (9) та (10)

$$m_d = \frac{P_k + P_{\text{ц}}}{\delta\omega^2}. \quad (11)$$

Отримані вирази характеристик робочого процесу установки дають формулу для визначення повної потужності електродвигуна установки, що витрачається на поновлення плинності й транспортування порошку

$$N_{\text{Э}} = \frac{f(m_d\delta)^2\omega^3}{1000(m_1 + m_d)} + \frac{\gamma H_T G_{\text{п}}}{\eta 1000}. \quad (12)$$

Розв'язком рівняння зовнішньої балістики отримано вираз для швидкості руху часток порошкового струменя

$$v = \frac{8r\rho_2 v_0}{3\rho_{10} c v_0 t + 8r\rho_2}, \quad (13)$$

і її довжини в горизонтальному напрямку

$$l = \frac{8r\rho_2}{3\rho_{10} c} \left\{ \ln \left[ v_0 t + \frac{8r\rho_2}{3\rho_{10} c} \right] - \ln \left[ \frac{8r\rho_2}{3\rho_{10} c} \right] \right\}. \quad (14)$$

У виразах (13), (14)  $r$  – радіус часток, м;  $\rho_{10}$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  – щільність часток, кг/м<sup>3</sup>;  $v_0$  – початкова швидкість, м/с;  $t$  – час руху, с;  $c$  – аеродинамічний коефіцієнт опору.

Отримані математичні моделі дозволяють розрахувати експлуатаційні характеристики установки порошкового гасіння прийнятої до розробки будь-якого її типорозміру.

**Висновки.** Аналіз праць щодо удосконалення установок порошкового пожежогасіння довів, що зі зміною конструкції окремих їхніх вузлів структурні схеми побудови, постачання робочим газом і підготовки порошку не зазнали суттєвих змін. Поряд з поліпшенням деяких технічних параметрів часові та витратні характеристики залишилися без змін.

Аналізом встановлено, що швидкість псевдозрідження з подачею газу в шар порошку є характеристикою, яка обмежує подальше удосконалення установок порошкового пожежогасіння з балонами стиснутого газу. Час приведення їх до дії досягає 30 с, а підготовлений до транспортування порошок містить газові пухирі і грудки порошку, що є причиною відмови в роботі установок.

На основі аналізу процесів транспортування і відновлення плинності дрібнодисперсних матеріалів запропоновано принципово нову технічну схему установки порошкового гасіння, в котрій виключено використання робочого газу під високим тиском. Вона заснована на застосуванні відцентрової машини, яка виконує функції вібратора для підготовки порошку і робочого органу з його транспортування, що дозволяє поліпшити характеристики установок.

Математичним моделюванням отримано аналітичні вирази, котрі встановлюють їхні залежності від конструктивних параметрів установки характеристик вібраційної підготовки порошку, руху суміші порошку з повітрям біля її проточної частини і руху порошкового струменя на ділянці доставки.

### Література

1. Програма забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року. Постанова Кабінету Міністрів України від 1 липня 2002 р. № 870.
2. ДСТУ 3273-95.Безопасность промышленных предприятий. Общие положения и требования. Пожарная безопасность. Нормативные акты и другие документы. – Киев, 1997. – Т. 1. - 560 с.
3. Мозковий Г.О. Щодо ефективності вогнегасних речовин // Пожарная безопасность-2003: Матеріали VI науч.-практ. конф. – Харьков, АПБУ, 2003. - С. 211-213.
4. Пивоваров В.В., Цариченко С.Г., Александров В.А. Концепция развития автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения //Пожарная безопасность. - М.: ВНИИПО, 2003. – № 3. - С. 99-104.
5. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Шаповалова Е.А. Унификация установок пожаротушения /Пожарна безпека-2001: Зб. наукових праць. П 32 Львів: СПОЛОМ, 2001. – С. 481-482.
6. Дунюшкін В.О., Пономарьов С.В., Антонов А.В., Гамера А.В. Напрямки модернізації систем автоматичного газового пожежогасіння об'єктів транспортування газу з метою припинення використання озоноруйнівних речовин //Науковий вісник УкрНДПБ.- К.: УкрНДПБ, 2003. – № 1. - С.157-161.
7. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. - М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
8. Исаев М.Н. Исследование пневматического транспортирования огнетушащих порошков: Дис. ... канд. техн. наук. 05.26.01 - М., 1970. - 168 с.
9. Исавнин Н.В. Средства порошкового пожаротушения. – М.: Стройиздат, 1983. – 156 с.
10. Дунюшкин В.А. Повышение уровня обеспечения противопожарной защиты объектов установками порошкового пожаротушения: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. – Киев, 1994. - 265 с.
11. Сизиков А.А. Исследование и разработка установок порошкового пожаротушения с унифицированными аэрирующими устройствами: Дис. ... канд. техн. наук. 05.26.01. – Харьков, 1997. – 193 с.
12. Порошковый огнетушитель. А.с. № 1175505 СССР, МКИ А 62 С 13/50 /Абрамов А.А., Кавецкий В.В., Сизиков А.А., Снятков В.А., Тимошенко А.М. - 3971264/29-12 Заявл. 01.11.85 Опувл 30.05.87. Бюл. № 22. - 2 с.
13. Сізіков О.О., Тимошенко О.М., Пономарьов С.В. Дослідження впливу конструктивних елементів на тактико-технічні характеристики закачних модульних установок порошкового пожежогасіння //Науковий вісник УкрНДПБ. - К.: УкрНДПБ, 2000. – № 1-2. - С.78-80.
14. Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. – К.: Донецк, Вища школа. Головное изд-во, 1979. - 188 с.
15. Волошаненко А. И. и др. Исследование динамических процессов в огнетушащих порошках и технических средствах пожаротушения при воздействии вибрации /Сб. науч. тр. Порошковое пожаротушение. - М.: ВНИИПО, 1983. - С. 75-80.
16. Разумов И.М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности. - М.: Химия, 1979. - 248 с.

17. Пневмотранспортное оборудование. Справочник. /Под ред. Калинушкина М.П. – Л.: Машиностроение, 1986. - 286 с.
18. Устройство для тушения пожара. А.с. № 1755820 СССР МКИ А 62 С 35/68 // Каратун А.В., Касьянов Н.А., Гуляков Н.П., Стратилатов В.В., Кожин В.Н., Колибабчук А.А. – 4711655/12 Заявл. 29.06.89.Опубл. 23.08.92. Бюл. № 31. – 4 с.
19. Дунюшкин. В.А. и др. Разработка математической модели истечения газопорошковой смеси из установок порошкового тушения /Сб. науч. тр. Теоретические и экспериментальные вопросы автоматического пожаротушения. - М.: ВНИИПО, 1987. - С. 87-97.

УДК 621.791.754.264

**И.А.Тарарычкин**

### **ПРОГРАММИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПРОДОЛЬНЫХ СТЫКОВ ОБЕЧАЕК**

Для случая многопроходной сварки продольных стыков обечаек рассмотрены особенности формирования шва и возможности обеспечения качества сварных соединений. Сформулирован закон изменения скорости подачи электродной проволоки по длине соединения. Предложен алгоритм контроля геометрии разделки, подготовки под сварку и реализации сварочного процесса. Рис. 7, табл. 8, ист. 6.

Системы адаптивного управления процессом многопроходной сварки находят применение при изготовлении ответственных конструкций различного назначения. Они позволяют в реальном масштабе времени контролировать текущий профиль разделки и отдельных валиков (например, с использованием метода лазерной триангуляции), с последующей компенсацией неточностей сборки путем соответствующей корректировки значений параметров сварочного процесса.

В работе [1] описана система АВW, предназначенная для сварки сосудов давления, позволяющая выполнять сбор информации о текущей геометрии разделки кромок, уровне её заполнения и полностью автоматизировать процесс многопроходной сварки.

Аналогичные системы разрабатываются и в нашей стране. Так, в ЦНИИ технологии судостроения совместно с ИЭС им. Е.О.Патона разработаны автоматы «Мир-3П» и «Радиян», оснащенные видеосенсорной системой с ИК-прожектором развертывающего типа [2]. Применение такого оборудования, оснащенного специализированным программным обеспечением, позволяет снизить трудоемкость сборочного процесса и повысить качество сварных соединений.

Однако применение сложных и дорогостоящих систем адаптивного управления может быть оправдано только при достаточно высоком уровне загрузки технологического оборудования.

В условиях единичного производства более приемлемым следует считать подход, при котором стандартное сварочное оборудование оснащается блоками программного управления процессом сварки. В этом случае отдельные параметры режима изменяются по жесткой программе, которая устанавливается заранее, до начала сварочного процесса. В работе [3] описан пример успешного применения головки А-1401, оснащенной программирующим блоком при сварке засыпных аппаратов доменных печей.

Однако независимо от того, какое оборудование используется при сварке с программированием параметров режима, ключевым остается вопрос о том, какие параметры и в соответствии с какими алгоритмами следует изменять в процессе сварки [4].

Целью настоящей работы является анализ влияния погрешностей сборки продольных стыков обечаек на изменение геометрии отдельных слоев многопроходного шва и разработка алгоритма их компенсации на основе использования систем с программированием параметров режима сварки.

Подготовку под сварку продольного стыка толстостенной обечайки выполняют путем предварительной механической обработки кромок и последующей гибки (вальцовки) листовой заготовки [5].

Возникающие погрешности сборки могут быть связаны с превышением кромок, изменением угла раскрытия разделки и величины зазора по длине стыка (рис. 1).

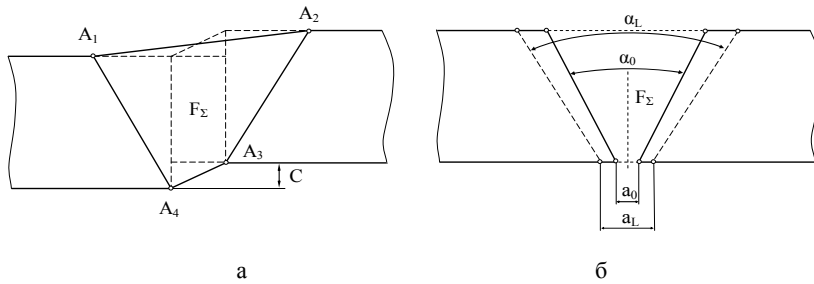


Рис. 1. Погрешности сборки стыка под сварку, связанные с образованием:  
 а - превышения кромок С; б - различных значений зазора в стыке и угла раскрытия  
 разделки для противоположных концевых сечений

Анализируя характер изменения площади разделки кромок  $F_{\Sigma}$  в результате наблюдаемых погрешностей сборки, можно показать, что превышение кромок не оказывает влияние на  $F_{\Sigma}$ , которая определяется площадью четырехугольника  $A_1A_2A_3A_4$ , показанного на рис. 1,а. В то же время изменение зазора в стыке и угла раскрытия разделки приводит как к общему изменению  $F_{\Sigma}$ , так и площади отдельного  $k$ -го слоя  $F_k$ .

Программное изменение скорости подачи электродной проволоки вдоль стыка обечайки для компенсации наблюдаемого изменения площади поперечного сечения отдельного слоя позволяет заполнять разделку слоями постоянной высоты и создает благоприятные условия для формирования многопроходного шва.

Совместим начало координат с одним из концевых сечений и направим ось  $Z$  вдоль оси обечайки. Обозначим текущую величину сборочного зазора в стыке  $a(z)$  и соответствующее значение угла раскрытия  $V$ -образной разделки  $\alpha(z)$ . Кроме того, для концевых сечений обечайки длиной  $L$  принимаем:

$$\begin{cases} a(0) = a_0 \\ \alpha(0) = \alpha_0 \end{cases}; \quad (1)$$

$$\begin{cases} a(L) = a_L \\ \alpha(L) = \alpha_L \end{cases}. \quad (2)$$

Значения  $a_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $a_L$ ,  $\alpha_L$  рассматриваются в дальнейшем как известные, поскольку они могут быть определены путем прямых замеров на обечайке, собранной под сварку.

Если  $V$ -образная разделка заполняется слоями постоянной высоты  $h = \text{const}$  (рис. 2), то для текущего сечения  $Z$  площадь  $k$ -го слоя определяется так:

$$F_k(z) = h \left[ a(z) + h(2k-1) \operatorname{tg} \frac{\alpha(z)}{2} \right]. \quad (3)$$

В дальнейшем влияние погрешностей механической обработки кромок на форму разделки рассматривается как незначительное, а также считается, что образовавшиеся в результате операции сборки под сварку параметры  $a(z)$  и  $\alpha(z)$  изменяются вдоль стыка по линейному закону:

$$\begin{cases} a(z) = a_0 + \frac{a_L - a_0}{L} z \\ \alpha(z) = \alpha_0 + \frac{\alpha_L - \alpha_0}{L} z \end{cases}.$$

Тогда закон изменения площади  $k$ -го слоя:

$$F_k(z) = a_0 h + \frac{a_L - a_0}{L} h \cdot z + h^2 (2k-1) \operatorname{tg} \left[ \frac{\alpha_0}{2} + \frac{a_L - a_0}{2L} z \right]. \quad (4)$$

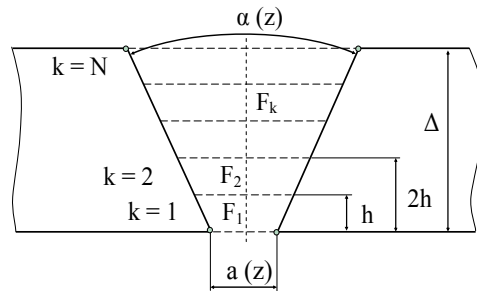


Рис. 2. Расчетная схема для определения площади  $k$ -го слоя многопроходного шва

Зависимость (4) является нелинейной, однако может оказаться близкой к линейной, если учесть то обстоятельство, что для стыковых соединений с разделкой, кромок ГОСТ 8713-79, предусматривает допустимый диапазон изменения сборочного зазора в единицах миллиметров, а угла раскрытия разделки в единицах градусов.

Зависимость, описывающая линейный закон изменения площади  $k$ -го слоя вдоль свариваемого стыка при соблюдении условий (1) и (2), формулируется так:

$$F'_k(z) = a_0 h + h^2 (2k-1) \operatorname{tg} \left[ \frac{\alpha_0}{2} \right] + z \frac{h}{L} \left\{ a_L - a_0 + h(2k-1) \cdot \left[ \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} - \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2} \right] \right\}. \quad (5)$$

Для оценки погрешности, возникающей в результате замены нелинейной зависимости (4), линейной (5), определялась относительная ошибка:

$$\varepsilon_k(z) = \frac{F_k(z) - F'_k(z)}{F_k(z)} 100\%,$$

для соединений типа С19 и С20 (ГОСТ 8713-79) с учетом допустимого диапазона изменения параметров  $a$  и  $\alpha$ . Установлено, что максимальная величина ошибки не превышает 0,5%. Это означает не только возможность практического использования зависимости (5) в расчетах, но и допустимость линейного изменения скорости подачи электродной проволоки вдоль стыка обечайки как способа компенсации наблюдаемых отклонений геометрии разделки кромок.

Коэффициент

$$W_k = \frac{F_k(L)}{F_k(0)} = \frac{a_L + h \cdot (2k-1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}}{a_0 + h \cdot (2k-1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}}$$

показывает, во сколько раз следует изменить площадь наплавки отдельного валика по длине стыка в пределах  $k$ -го слоя, чтобы его высота оставалась постоянной, несмотря на наличие погрешностей сборки.

В зависимости от конкретных значений контролируемых параметров  $a_0$ ,  $a_L$ ,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_L$  движение вдоль оси  $Z$  для  $k$ -го слоя может сопровождаться как ростом, так и уменьшением значений  $F_k$  (рис. 3). Результаты вычислений  $W_k$  для  $h=4$  мм,  $\delta=28$  мм,  $a_0=3,5$  мм,  $a_L=6,5$  мм,  $\alpha_0=560$ ,  $\alpha_L=440$  (соединение типа С19 по ГОСТ 8713-79) приведены в табл. 1, откуда видно, что движение вдоль положительного направления оси  $Z$  приводит к росту площади слоя для значений  $k=1, 2, 3$  и к уменьшению для  $k=4, 5, 6, 7$ .

С точки зрения поддержания устойчивости дугового процесса и предотвращения обрыва дуги в процессе сварки программирование режима с изменением скорости подачи электродной проволоки целесообразно выполнять таким образом, чтобы от начала к концу наплавляемого валика скорость подачи проволоки постепенно увеличивалась. Это означает, что для рассмотренного варианта заполнения разделки направление сварки следует изменить начиная с 4-го слоя.

Определить отношение максимальной площади наплавки к минимальной для валика, принадлежащего  $k$ -му слою можно при помощи коэффициента:

$$\mu_k = e^{|\ln W_k|}$$

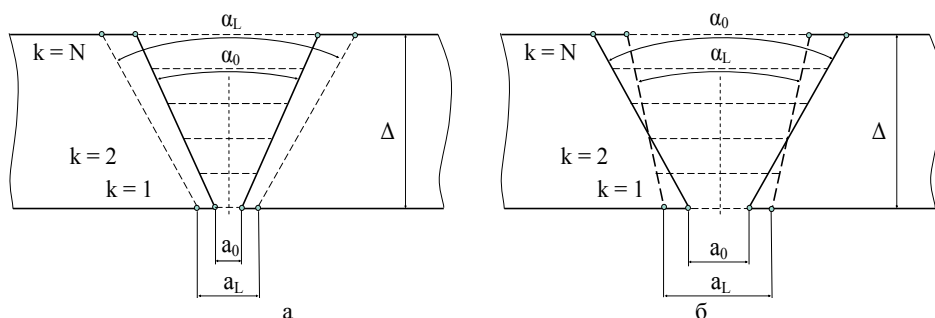


Рис. 3. Схематическое изображение концевых сечений обечайки для различных условий сборки соединения под сварку: а -  $a_L > a_0$ ,  $\alpha_L > \alpha_0$  и  $F_k(L) > F_k(0)$  для всех  $k$ ;  
б -  $a_L > a_0$ ,  $\alpha_L < \alpha_0$  и  $F_1(L) > F_1(0)$ ,  $F_N(L) < F_N(0)$

Значения  $\mu_k$  для рассмотренного соединения С19 приведены в табл. 1. Анализируя полученные данные, можно заключить, что используемое в данном случае технологическое оборудование должно обеспечивать возможность постепенного увеличения скорости подачи электродной проволоки вдоль стыка не менее чем на 45%.

Для высоты слоя  $h = 4$  мм максимальное значение  $\mu_1 = 1,69$  и соответствует следующему сочетанию допускаемых характеристик геометрии разделки кромок:  $a_0 = 3,5$  мм,  $a_L = 6,5$  мм,  $\alpha_0 = 44^\circ$ ,  $\alpha_L = 56^\circ$ . Изменение высоты слоя  $h$  приводит к изменению  $\mu_1$ , однако для интервала значений  $h = 3,5 \dots 5,6$  мм этот диапазон невелик и связан с необходимостью увеличения скорости подачи электродной проволоки примерно на 65...0% (табл. 2).

Для определения направления наплавки валиков  $k$ -го слоя необходимо определить значение  $W_k$ . Если  $W_k > 1$ , то наплавку следует производить в положительном направлении оси  $Z$  (от сечения  $Z=0$  до  $Z=L$ ) и наоборот. При этом процесс сварки  $k$ -го слоя необходимо вести с постепенным увеличением скорости подачи электродной проволоки в  $\mu_k$  раз.

Т а б л и ц а 1

Расчетные значения коэффициентов  $w_k$  и  $\mu_k$

k	1	2	3	4	5	6	7
$W_k$	1,442	1,149	1,032	0,969	0,929	0,903	0,883
$\mu_k$	1,442	1,149	1,032	1,032	1,076	1,076	1,132

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициента  $\mu_1$  при заполнении разделки глубиной  $\Delta = 28$  мм слоями различной высоты

Количество слоев N	5	6	7	8
h, мм	5,6	4,67	4	3,5
$\mu_1$	1,645	1,668	1,69	1,701

Таким образом, при заполнении разделки с постепенным увеличением скорости подачи электродной проволоки следует предварительно выбрать общую схему раскладки валиков, указать направление сварки каждого слоя, а также установить закон изменения скорости подачи электродной проволоки по длине стыка.

Принятую схему раскладки валиков удобно задать графически в виде S-k диаграммы, указывающей количество наплавляемых валиков  $S_k$  в k-ом слое [6]. В данном случае такую диаграмму целесообразно дополнить, добавив с целью наглядности ось  $\mu_k$  (рис. 4).

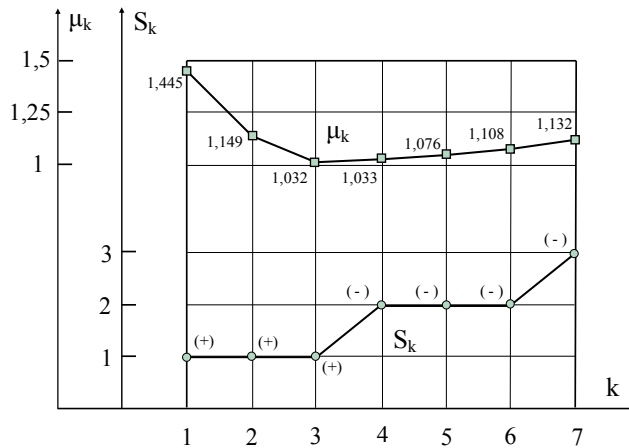


Рис. 4. Диаграмма, описывающая схему заполнения разделки кромок при многопроходной сварке продольного шва обечайки

Это позволяет не только описать схему раскладки валиков при сварке конкретных соединений, но и указать, во сколько раз следует увеличить скорость подачи электродной проволоки при сварке каждого валика в случае программирования технологических режимов. Для полноты информации на диаграмме целесообразно указать и направление сварки каждого валика в слое. При этом знак (+) соответствует случаю сварки в положительном направлении, а (-) в отрицательном.

Расчетные характеристики отдельных слоев и валиков для соединения типа С19 приведены в табл. 3, а соответствующая принятой схеме раскладки валиков S-k диаграмма заполнения разделки показана на рис. 4. Отсюда, например, видно, что первые три слоя состоят из одного валика и выполняются в положительном направлении, а вариация скорости подачи электродной проволоки по длине многопроходного шва оказывается наибольшей для первого слоя и наименьшей для третьего.

Таблица 3

Условия заполнения V-образной разделки глубиной  $\Delta=28\text{мм}$  для значений  $N=7, h=4\text{мм}, a_0=3,5\text{мм}, a_L=6,5\text{мм}, \alpha_0=56^\circ, \alpha_L=44^\circ$

k	$F_k(0), \text{мм}^2$	$F_k(L), \text{мм}^2$	$W_k$	$S_k$	$f_k(0), \text{мм}^2$	$f_k(L), \text{мм}^2$	$\mu_k$	Напр. сварки
1	22,507	32,464	1,442	1	22,507	32,464	1,442	(+)
2	39,522	45,393	1,149	1	39,522	45,393	1,149	(+)
3	56,537	58,322	1,032	1	56,537	58,322	1,032	(+)
4	73,551	71,251	0,969	2	36,78	35,63	1,033	(-)
5	90,566	84,18	0,929	2	45,28	42,09	1,076	(-)
6	107,581	97,109	0,903	2	53,79	48,55	1,108	(-)
7	124,596	110,037	0,883	3	41,53	36,68	1,132	(-)

Значения площади наплавки отдельных валиков для концевых сечений зависят от принятой схемы раскладки и определяются так:

$$\begin{cases} f_k(0) = \frac{F_k(0)}{S_k} \\ f_k(L) = \frac{F_k(L)}{S_k} \end{cases}$$

Линейный закон изменения площади наплавки валика, принадлежащего k-му слою:

$$f_k(z) = f_k(0) + \frac{f_k(L) - f_k(0)}{L} \cdot z \text{ для всех } k, \text{ которым соответствуют } W_k > 1.$$

$$f_k(z^*) = f_k(0) + \frac{f_k(L) - f_k(0)}{L} \cdot z^* \text{ для всех } k, \text{ которым соответствуют } W_k < 1.$$

Площадь наплавки k-го валика связана с параметрами режима следующим образом:

$$f_k = \frac{\pi d_3^2}{4} \frac{V_{\text{ПП}}(k)}{V_{\text{СВ}}(k)} \cdot (1 - \psi_L),$$

где  $d_3$  – диаметр электродной проволоки;  $V_{\text{ПП}}(k)$  – скорость подачи электродной проволоки при сварке k-го слоя;  $V_{\text{СВ}}(k)$  – скорость сварки валиков k-го слоя;  $\psi_L$  – коэффициент потерь электродного металла.

Тогда линейный закон изменения скорости подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{ПП}}(k, z) = \frac{4 V_{\text{СВ}}(k)}{\pi d_3^2 (1 - \psi_L)} \cdot \left\{ f_k(0) + \frac{f_k(L) - f_k(0)}{L} \cdot z \right\}, \quad (5)$$

для всех k, которым соответствуют  $W_k > 1$ .

$$V_{\text{ПП}}(k, z^*) = \frac{4 V_{\text{СВ}}(k)}{\pi d_3^2 (1 - \psi_L)} \cdot \left\{ f_k(0) + \frac{f_k(L) - f_k(0)}{L} \cdot z^* \right\}, \quad (6)$$

для всех k, которым соответствуют  $W_k < 1$ ,

где Z – текущее расстояние от оси электрода до сечения Z=0 при сварке в положительном направлении, а Z\* – соответственно расстояние до сечения Z=L при сварке в отрицательном направлении (рис. 5).

Используя данные табл. 3, а также принимая  $V_{\text{СВ}}(k) = 8 \text{ мм/с} = \text{const}$ ,  $d_3 = 3 \text{ мм}$ ,  $1 - \psi_L = 0,98$ ,  $L = 1 \text{ м}$ , можно определить условия заполнения разделки для соединения типа С19 по ГОСТ 8713-79. Результаты расчетов приведены в табл. 4 и позволяют осуществлять программирование режимов сварки на всех этапах заполнения разделки.

Т а б л и ц а 4

**Схема заполнения разделки и принятый закон изменения скорости подачи электродной проволоки при многопроходной сварке**

Номер слоя k	Кол-во валиков в слое $S_k$	Направление сварки	Скорость подачи проволоки $V_{\text{ПП}}(k, z)$ , мм/с
1	1	(+)	$26,11 + 9,96 \cdot 10^{-3} Z$
2	1	(+)	$45,85 + 5,78 \cdot 10^{-3} Z$
3	1	(+)	$65,58 + 1,79 \cdot 10^{-3} Z$
4	2	(-)	$41,33 + 1,15 \cdot 10^{-3} Z^*$
5	2	(-)	$48,82 + 3,19 \cdot 10^{-3} Z^*$
6	2	(-)	$56,32 + 5,24 \cdot 10^{-3} Z^*$
7	3	(-)	$42,55 + 4,85 \cdot 10^{-3} Z^*$

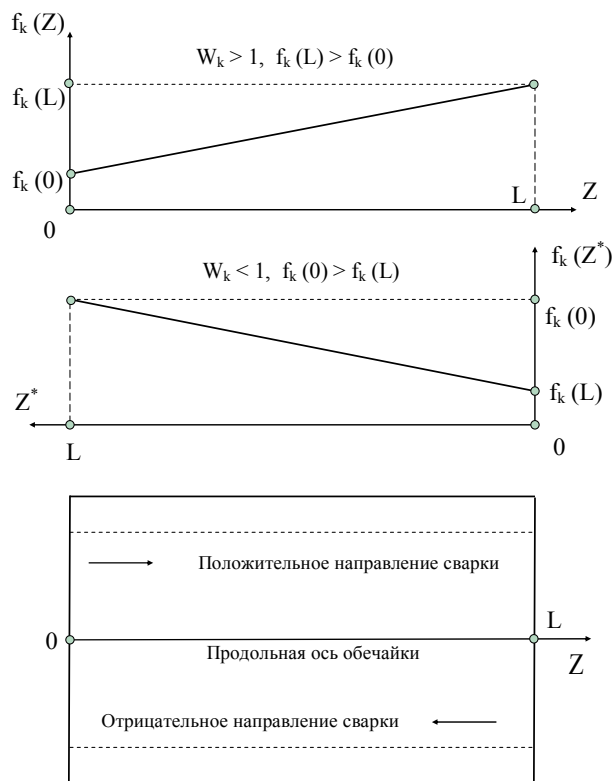


Рис. 5. Расчетная схема для определения площади наплавки валика, принадлежащего k-му слою в зависимости от значения  $W_k$

Таким образом, применение предлагаемого подхода сводится к такой последовательности действий.

1. Для собранного под сварку продольного стыка обечайки длиной  $L$  выбирается положительное направление с привязкой начала координат к одному из конечных сечений.
2. По результатам выполнения контрольных операций устанавливаются геометрические характеристики разделки  $a_0, a_L, \alpha_0, \alpha_L$  для конечных сечений.
3. Для известной глубины разделки  $\Delta$  и принятого числа слоев  $N$  определяется высота  $h$  отдельного слоя ( $h < 6$  мм [6]).
4. Задается схема заполнения разделки и вычисляются  $F_k(0), F_k(L), W_k, \mu_k, f_k(0), f_k(L)$ . Строится соответствующая S-k диаграмма и определяется направление сварки валиков каждого слоя.
5. Для известных  $d_s, L, \psi_L$  и принятых значений  $V_{CB}(k)$  формулируется закон изменения скорости подачи электродной проволоки по длине соединения с использованием установленных зависимостей (5) и (6).

В случае применения комбинированной формы разделки кромок нижнюю и верхнюю части следует рассматривать отдельно (рис. 6).

Так, если нижняя часть разделки соединения типа СЗ6 по ГОСТ 8713-79 глубиной 8 мм заполняется при помощи двух слоев постоянной высоты, то, несмотря на наличие погрешностей сборки, будут созданы благоприятные условия для заполнения верхней части, а вероятность образования пристеночных дефектов вблизи границы перехода от нижней части разделки к верхней окажется минимальной.

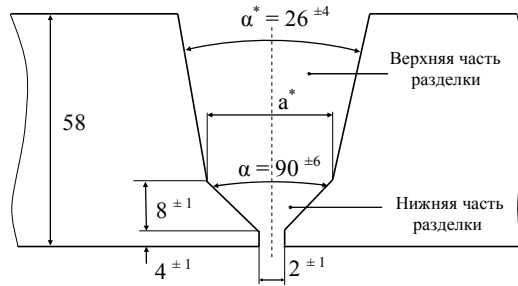


Рис. 6. Соединение типа С36 по ГОСТ 8713-79 при толщине свариваемого металла 58 мм

Если по результатам замеров для обечайки длиной  $L=1$  м установлены значения  $a_0=1,5$  мм,  $a_L=2,8$  мм,  $\alpha_0=85^\circ$ ,  $\alpha_L=92^\circ$  (рис. 6), то, принимая для нижней части разделки  $h=4$  мм, можно обеспечить её заполнение при помощи двух слоев. Результаты расчета геометрии этих слоев приведены в табл. 5, а рекомендуемые режимы сварки в табл. 6.

Таблица 5

**Расчетные характеристики слоя и геометрические параметры отдельных валиков для нижней части разделки соединения типа С 36 по ГОСТ 8713-79**

Номер слоя k	$F_k(0)$ , мм <sup>2</sup>	$F_k(L)$ , мм <sup>2</sup>	$W_k$	$S_k$	$f_k(0)$ , мм <sup>2</sup>	$f_k(L)$ , мм <sup>2</sup>	$\mu_k$
1	26,68	38,96	1,46	1	26,68	38,96	1,46
2	49,96	60,88	1,22	1	49,96	60,88	1,22

Таблица 6

**Расчетные режимы сварки нижней части ступенчатой разделки соединения типа С 36 по ГОСТ 8713-79 для  $d_s=3$  мм,  $1-\psi_L=0,98$  и  $L=1$  м**

Номер слоя k	Кол-во валиков в слое $S_k$	Направление сварки	$V_{св}(k)$ , мм/с	Скорость подачи проволоки $V_{III}(k, z)$ , мм/с
1	1	(+)	6	$23,13 + 10,65 \cdot 10^{-3} Z$
2	1	(+)	6	$43,26 + 9,46 \cdot 10^{-3} Z$

Для верхней части разделки глубиной 46 мм высота отдельного слоя принимается 4,6 мм. Геометрические характеристики верхней части разделки кромок:  $a_0^*=16,16$  мм,  $a_L^*=19,36$  мм,  $\alpha_0^*=23^\circ$ ,  $\alpha_L^*=28^\circ$ . Характеристики валиков, наплавляемых в верхней части разделки, приведены в табл. 7, а расчетные значения режимов сварки для  $d_s=3$  мм,  $1-\psi_L=0,98$  и  $L=1$  м представлены в табл. 8.

Таблица 7

**Расчетные характеристики отдельных слоев и геометрические параметры валиков для верхней части комбинированной разделки**

k	$F_k(0)$ , мм <sup>2</sup>	$F_k(L)$ , мм <sup>2</sup>	$W_k$	$S_k$	$f_k(0)$ , мм <sup>2</sup>	$f_k(L)$ , мм <sup>2</sup>	$\mu_k$
3	78,57	94,35	1,20	2	39,29	47,18	1,20
4	87,03	104,92	1,21	2	43,52	52,46	1,21
5	95,50	111,51	1,21	2	47,75	57,76	1,21
6	103,96	126,09	1,21	2	51,98	63,05	1,21
7	112,42	136,67	1,22	2	56,21	68,34	1,22
8	120,89	147,25	1,22	2	60,45	73,63	1,22
9	129,35	157,83	1,22	3	43,12	52,61	1,22
10	137,82	168,41	1,22	3	45,94	56,14	1,22
11	146,28	178,99	1,22	3	48,76	59,66	1,22
12	154,74	189,57	1,23	3	51,58	63,19	1,23

Расчетные значения режимов для верхней части комбинированной разделки

Номер слоя k	S <sub>k</sub>	Напр. сварки	V <sub>св(k)</sub> , см/с	Скорость подачи проволоки V <sub>пш</sub> (k, z), мм/с
3	2	(+)	6	34,03 + 6,83 10 <sup>-3</sup> Z
4	2	(+)	6	37,69 + 7,74 10 <sup>-3</sup> Z
5	2	(+)	6	41,35 + 8,67 10 <sup>-3</sup> Z
6	2	(+)	6	45,01 + 9,59 10 <sup>-3</sup> Z
7	2	(+)	6	48,68 + 10,5 10 <sup>-3</sup> Z
8	2	(+)	6	52,35 + 11,41 10 <sup>-3</sup> Z
9	3	(+)	6	37,34 + 8,22 10 <sup>-3</sup> Z
10	3	(+)	6	39,78 + 8,83 10 <sup>-3</sup> Z
11	3	(+)	6	42,23 + 9,44 10 <sup>-3</sup> Z
12	3	(+)	6	44,67 + 10,05 10 <sup>-3</sup> Z

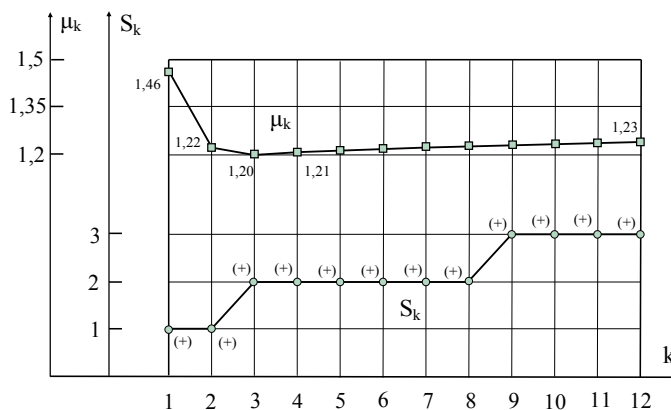


Рис. 7. Вид S-k диаграммы, описывающей процесс заполнения односторонней ступенчатой разделки при многопроходной сварке

Соответствующая S-k диаграмма заполнения односторонней ступенчатой разделки многопроходным швом показана на рис. 7. Использование диаграммы в сочетании с рекомендациями табл. 8 позволяет выполнять программирование режимов сварки, обеспечивающих компенсацию наблюдаемых погрешностей сборки продольного стыка толстостенной обечайки под сварку и создать необходимые условия для получения бездефектных соединений.

Таким образом, предложенный алгоритм и сформулированные расчетные зависимости позволяют решать задачу обеспечения качества продольных швов толстостенных обечаек путем предварительного выбора схемы раскладки валиков и программного изменения параметров режима многопроходной сварки.

#### Литература

1. Ekelof B. Weld fill qualification – a matter for the adaptive butt-welding system, ABW // Svetsaren. – 1993. – vol. 47. - № 1. – P. 4-7.
2. Трегубов Г.П., Горбач В.Д. Оптимизация размеров сварных швов за счет адаптивного управления процессом дуговой сварки // Сварочное пр-во. – 2004. - № 1. – С. 19-21.
3. Серенко А.Н., Шаферовский В.А., Патрикеев А.И. Сварка толстолистовой стали с программированием процесса. Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2000. – 296 с.
4. Тарарычкин И.А. Особенности сборки и многопроходной сварки кольцевых стыков толстостенных обечаек // Автомат. сварка. - 2005 - № 7. – С. 49-54
5. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас. : Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / М.: Машиностроение, 1989. - 328 с.

6. Тарарычкін І.А. Сравнительный анализ эффективности различных технологических схем заполнения разделки кромок при многопроходной дуговой сварке // Тяжелое машиностроение. - № 7. - 2005. - С. 23-28.

УДК 62.752

І.І.Сидоренко, С.С.Гутиря

### ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОМА ДІЛЯНКАМИ КОМБІНОВАНОЇ ПРУЖНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розглянуто вимушені коливання в механічній системі з віброізолюючим пристроєм, що дозволяє реалізувати пружну характеристику з двома комбінованими ділянками. Встановлено, що резонансний процес в такій системі відбувається на фоні загального обмеження амплітуди коливань завдяки явищу «стрибка» і не залежить від напрямку проходу резонансної частоти. Рис. 4, дж. 5.

Найбільш небезпечним проявом коливального процесу, що призводить до різкого збільшення динамічних навантажень в машинному агрегаті, є резонанс. Для запобігання виникненню резонансу у механічній системі необхідно забезпечити належну частоту власних коливань  $\rho$ , яка має відрізнятися від частоти збудження  $\omega$  не менш ніж на 25...30% [1]. Найбільш поширеним, через простоту конструкції і надійність в експлуатації, є використання пасивних віброізолюючих пристроїв (ПВП) з лінійними пружними характеристиками. В умовах диверсифікації та інтенсифікації технологічних процесів відбувається розширення спектру частот збудження, що призводить до суттєвих труднощів з подоланням резонансу засобами ПВП. Альтернативою є застосування активних віброізолюючих систем (АВС), а також нещодавно анонсованих ПВП з механічним зворотним зв'язком (МЗЗ), за допомогою яких можна реалізувати нелінійні пружні характеристики. Наявність у механічній системі таких елементів суттєво змінює характер виникаючих при експлуатації коливальних процесів.

Аналіз досліджень динамічних процесів у механічних системах Дюффінговського типу показав, що теоретично обґрунтованою і експериментально доведеною є якісна зміна форми коливань [1,2]. Обов'язковою ознакою таких систем є симетрична, відносно положення пружної рівноваги, характеристика відновлюючої пружної сили (ВПС)  $F(x)$  в залежності від робочого переміщення  $x$ , що відповідає рівнянню

$$F(x) = c(x \pm \mu x^3), \quad (1)$$

де  $c$  – коефіцієнт зведеної жорсткості системи, Н/мм;  $\mu$  – коефіцієнт, що зумовлює кут нахилу характеристики, мм<sup>-2</sup>; знак плюс відповідає «жорсткому» виду характеристики, знак мінус – «м'якому».

Особливістю коливального процесу в подібних системах є подолання резонансу так званим «стрибком» амплітуди коливань  $A$ , умови прояву якого залежать від виду нелінійності пружної характеристики та напрямку подолання резонансу (рис. 1).

Оскільки процес подолання резонансу «стрибком» зумовлює суттєве обмеження амплітуди резонансних коливань без використання додаткових спеціальних демпфуючих пристроїв, то він є корисним для віброзахисту техніки, що використовує вібраційні технології [2]. Але щоб цей процес відбувався як при прямому, так і при зворотному проході резонансної частоти потрібно, щоб характеристика ВПС віброізолюючого пристрою мала ділянку як нелінійного зменшення зведеної жорсткості, так і ділянку де зведена жорсткість нелінійно зростає [3].

Така характеристика не може бути реалізована за допомогою відомих конструкцій ПВП, а застосування АВС є невиправданим через їхню складність, досить високу вартість і недостатню надійність конструкцій в умовах вібрації. Запропоновано конструкції ПВП з МЗЗ, які здатні реалізувати необхідну характеристику ВПС [4, 5]. Одна з таких конструкцій (рис. 2) має ММЗ у виді кулачкової передачі, що складається з кулачка 1, розташованого на нерухомій опорі 2 і штовхача 3, що вільно переміщається вздовж рухомої рамки 4.

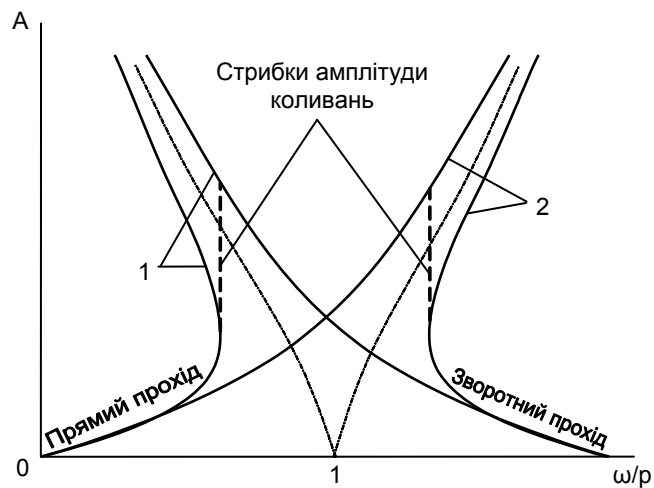


Рис. 1. Графіки зміни амплітуди при подоланні резонансу системою Дюффінговського типу: 1 – прямий прохід при «м'якій» характеристиці; 2 – зворотний прохід при «жорсткій» характеристиці

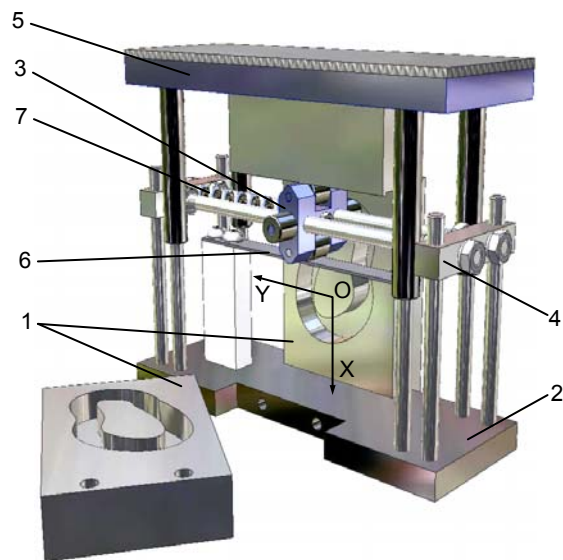


Рис. 2. Конструкція ПВП з МЗЗ

Навантаження від рухомої платформи 5 через ролики штовхача 3 передається на консольно закріплений пружний елемент 6. Пружна деформація елемента призводить до переміщення рухомого штока 5, рухомої рамки 4 і штовхача 3 вздовж вісі X. Водночас штовхач, завдяки кінематичному замиканню з кулачком 1, отримує додаткове коригувальне переміщення вздовж вісі Y. Для подолання сил тертя і гарантованого спрацьовування МЗЗ у конструкцію додана замикаюча пружина 7. Таким чином, наявність МЗЗ дозволяє отримати контрольоване переміщення штовхача  $y = f(x)$ , яке призводить до зміни плеча прикладання сили, що згинає пружний елемент, забезпечуючи тим самим контрольовану зміну пружних характеристик пристрою. Слід зазначити, що форма коригувального переміщення залежить від профілю кулачка. Наявність у конструкції такого гнучкого конструктивного елемента дозволяє отримати різні види пружної характеристики. Зок-

рема, при застосуванні кулачка з замкнутим профілем пружна характеристика залежить від напрямку переміщення рухливого штока, чого за допомогою відомих ПВП досягти неможливо.

Характеристика зведеної жорсткості даного пристрою описується виразом

$$c(x) = n \frac{3EJ_y}{[\ell - y(x)]^2}, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість пружних елементів у пристрої;  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $J_x$  – момент інерції перерізу пружних елементів довжиною  $\ell$ ;  $y(x)$  – коригувальне переміщення МЗЗ.

Відповідно характеристика ВПС має вираз

$$F(x) = c(x) \cdot x. \quad (4)$$

В залежності від геометричних параметрів пружних елементів, а також форми кулачка наведена конструкція ПВП з МЗЗ дозволяє реалізовувати широкий спектр пружних характеристик [5]. Зокрема, за умови використання пружних елементів прямокутного перерізу при певних значеннях геометричних параметрів профілю кулачка можна реалізувати симетричні пружні характеристики (рис.3), що мають дві ділянки нелінійного зменшення зведеної жорсткості BC і DS, і дві ділянки її нелінійного збільшення CD і SL (рис. 3).

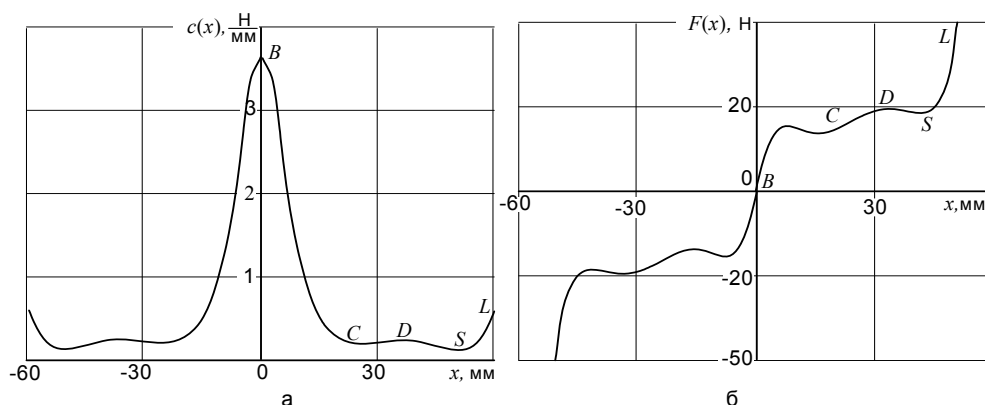


Рис. 3. Графіки пружних характеристик ПВП з МЗЗ:  
а – зведена жорсткість; б – відновлююча пружна сила

Одним з альтернативних методів дослідження сталого поведіння нелінійної механічної системи, на яку діє періодична сила збудження, є метод усереднення Рітца [2], що дозволяє одержувати числові наближені рішення з мінімальним відхиленням. Суть цього методу полягає у припущенні, що в системі є демпфування, пропорційне деякій функції швидкості  $f_1(\dot{x})$ , а ВПС є пропорційною функції переміщення  $f_2(x)$ . Рівняння руху для системи з в'язким тертям при силовому збуренні має вид

$$\ddot{x} + 2n f_1(\dot{x}) + p^2 f_2(x) = f_3(t), \quad (5)$$

де  $f_3(t) = \frac{Q}{m} \sin(\omega t) = q \sin(\omega t)$  – зовнішня збурювальна сила, яка діє з частотою  $\omega$ ;  $Q$  – амплітуда збурювальної сили;  $m$  – узагальнена маса;  $p$  – власна частота.

Наближене рішення для сталих коливань системи з такими параметрами можна подати у виді суми  $n$  гармонік коливного процесу

$$x = A_1 \xi_1(t) + A_2 \xi_2(t) + \dots = \sum_{i=1}^n A_i \xi_i(t). \quad (6)$$

Виходячи з того, що можлива робота за один цикл вимушених коливань у консервативній системі має дорівнювати нулю, одержуємо систему рівнянь

$$\int_0^{\varphi} (\ddot{x} + 2nf_1(\dot{x}) + p^2 f_2(x) - f_3(t)) \xi_i(t) dt = 0 \quad \forall \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

де  $\varphi$  – фазовий кут.

Для спрощення математичних перетворень припущено, що у системі відсутнє демпфування, тобто доданки  $2nf_1(\dot{x}) = 0$ .

Окрім цього, розв'язок обмежений першою гармонікою, а характеристика ВПС для ПВП з МЗЗ (рис. 3,6) апроксимована методом найменших квадратів з коефіцієнтом кореляції  $R = 0,9987$  у таку суму степеневих функцій з відповідними коефіцієнтами:

$$F(x) = c(a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x), \quad (8)$$

де  $c = 1$  – коефіцієнт зведеної жорсткості, що дорівнює одиниці і уявляє собою загальний множник коефіцієнтів степеневих функцій;

$$\text{при } -\pi \leq \varphi \leq 0 \quad a_5 = 1,29 \cdot 10^{-6}, a_4 = 0,000215, a_3 = 0,013, a_2 = 0,344, a_1 = 3,9;$$

$$\text{при } 0 \leq \varphi \leq \pi \quad a_5 = 1,29 \cdot 10^{-6}, a_4 = -0,000215, a_3 = 0,013, a_2 = -0,344, a_1 = 3,9.$$

Оскільки характеристику ВПС апроксимовано для двох діапазонів значень фазового кута  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  і  $0 \leq \varphi \leq \pi$ , то і коливання системи доцільно дослідити роздільно у тих же діапазонах.

Для діапазону значень  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  рівняння руху системи, з урахуванням поліноміального подання ВПС (8), має вид

$$\ddot{x} + p^2(1,29 \cdot 10^{-6} x^5 + 0,000215 x^4 + 0,013 x^3 + 0,344 x^2 + 3,9 x) = q \sin(\omega t), \quad (9)$$

а в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  відповідно

$$\ddot{x} + p^2(1,29 \cdot 10^{-6} x^5 - 0,000215 x^4 + 0,013 x^3 - 0,344 x^2 + 3,9 x) = q \sin(\omega t). \quad (10)$$

Як перше наближення обрано гармоніку

$$x = A_1 \xi_1(t) = A_1 \sin(\omega t). \quad (11)$$

З урахуванням того, що  $\ddot{x} = -\omega^2 A_1 \sin(\omega t)$  перше рівняння системи (7) має вид

$$\int_{-\pi}^0 [-\omega^2 A_1 \sin(\omega t) + p^2(1,29 \cdot 10^{-6} A_1^5 \sin^5(\omega t) + 2,15 \cdot 10^{-6} A_1^4 \sin^4(\omega t) + 0,013 A_1^3 \sin^3(\omega t) + 0,344 A_1^2 \sin^2(\omega t) + 3,9 A_1 \sin(\omega t)) - q \sin(\omega t)] \sin(\omega t) dt = 0. \quad (12)$$

Виконавши інтегрування, а також скоротивши отриманий результат на величину  $\frac{\pi}{p^2}$ ,

маємо рівняння, що відображує функцію  $A_1(\frac{\omega^2}{p^2})$ , тобто

$$-\frac{\omega^2}{p^2} A_1 + 0,40312 \cdot 10^{-6} A_1^5 - 7,3036 \cdot 10^{-7} A_1^4 + 0,004875 A_1^3 - 0,00155 A_1^2 + 1,95 A_1 - \frac{q}{p^2} = 0. \quad (13)$$

Виходячи з рівняння (10), аналогічно отримано

$$-\frac{\omega^2}{p^2} A_1 + 0,40312 \cdot 10^{-6} A_1^5 + 7,3036 \cdot 10^{-7} A_1^4 + 0,004875 A_1^3 + 0,00155 A_1^2 + 1,95 A_1 - \frac{q}{p^2} = 0. \quad (14)$$

Для детального аналізу отриманих результатів є зручною графічна інтерпретація розв'язку отриманих рівнянь (13) і (14). Для цього введено позначення  $N = \frac{\omega^2}{p^2}$  і  $M = \frac{q}{p^2}$ , з урахуванням яких отримано

$$N A_1 + M = 0,40312 \cdot 10^{-6} A_1^5 - 7,3036 \cdot 10^{-7} A_1^4 + 0,004875 A_1^3 - 0,00155 A_1^2 + 1,95 A_1; \quad (15)$$

$$NA_1 + M = 0,40312 \cdot 10^{-6} A_1^5 + 7,3036 \cdot 10^{-7} A_1^4 + 0,004875 A_1^3 + 0,00155 A_1^2 + 1,95 A_1. \quad (16)$$

Графічний розв'язок рівнянь (15) і (16) уявляє собою точки перетину або торкання графіка нелінійної функції  $f(A_1)$  у правій частини рівнянь і лінійної функції від  $A_1$  у лівій частини (рис. 4). Параметр  $M = 5,63$  зафіксовано у виді прямої 1 (рис. 4, б і в), що відповідає значенню  $N = 0$ . У діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  пряма 1 не має точок перетинання або торкання до функції  $f(A_1)$ , що свідчить про відсутність розв'язків рівняння (15) при заданому значенні  $N$ . У діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  пряма 1 перетинає функцію  $f(A_1)$  у точці R (рис. 4, б), визначаючи тим самим єдиний розв'язок рівняння (16). Відповідне до цього випадку значення амплітуди  $A_1$  відкладене у виді першої точки R амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) (рис. 4, г).

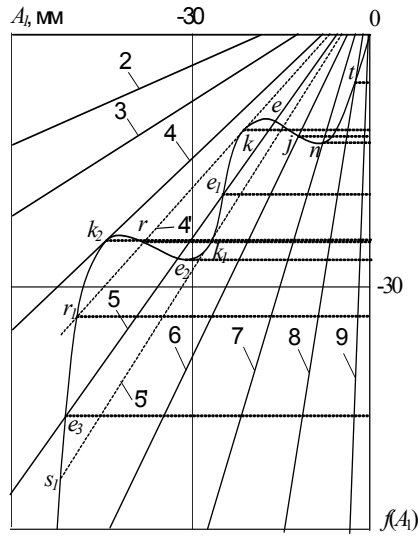
Лінія 2, що відповідає значенню  $N = 0,25$ , не має перетинань із функцією  $f(A_1)$  в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$ , а у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  лінія 2 не тільки перетинає криву  $f(A_1)$  у точці В, але і виявляється дотичною до неї у точці К, визначаючи тим самим критичну частоту  $\omega_{кр1}$  (рис. 4, б). Значення амплітуди  $A_1$ , що відповідає  $N = 0,25$ , відкладене на АЧХ у виді точок В і К (рис. 4, г). Лінія 3, що відповідає значенню  $N = 0,5$ , не має перетинань з кривою  $f(A_1)$  у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  (рис. 4, а), а у діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  має з кривою  $f(A_1)$  три точки перетинання  $C, C_1, C_2$  і одну точку торкання  $K_3$ , яка визначає критичну частоту  $\omega_{кр2}$  (рис. 4, б).

Відповідні значення амплітуди  $A_1$  позначено точками  $C, C_1, C_2, K_3$  на АЧХ (рис. 4, в). Лінія 4, що відповідає  $N = 0,75$ , у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  є дотичною до кривої  $f(A_1)$  у точці  $K_2$  (рис. 4, а), яка визначає критичну частоту  $\omega_{кр4}$  а в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  має три точки перетинання  $D, D_1, D_2$  (рис. 4, б) і одну точку торкання  $K_2$  (рис. 4, в), що визначає критичну частоту  $\omega_{кр3}$ . Значення амплітуди  $A_1$ , що відповідає отриманим розв'язкам позначене на АЧХ точками  $D, D_1, K_2, K_2, D_2$  (рис. 4, г).

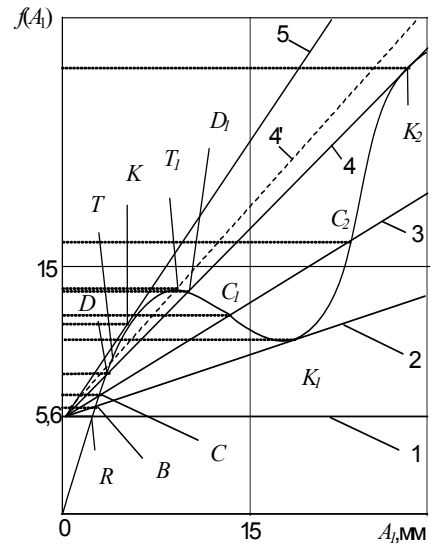
Лінія 4, що відповідає значенню  $0,75 < N < 1$ , у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  має одну точку торкання  $k$ , що визначає критичну частоту  $\omega_{кр5}$  і дві точки перетинання  $\Gamma, \Gamma_1$  кривої  $f(A_1)$  (рис. 4, а), а в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  – три точки перетинання  $T, T_1$  (рис. 4, б) і  $T_2$  (рис. 4, б). Відповідне значення амплітуди  $A_1$  на АЧХ позначено точками  $T, T_1, k, \Gamma, \Gamma_1, T_2$  (рис. 4, г). Лінія 5, що відповідає значенню  $N = 1$ , у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  має чотири точки перетинання  $e, e_1, e_2, e_3$  з кривою  $f(A_1)$  (рис. 4, а), а в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  – одну точку торкання  $K$ , що визначає критичну частоту  $\omega_{кр6}$  (рис. 4, б).

Значення амплітуди  $A_1$  на АЧХ для даного варіанта рішень позначено точками  $T, T_1, k, \Gamma, \Gamma_1, T_2$  (рис. 4, г). Лінія 5', що відповідає значенню  $1 < N < 1,25$ , у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  має дві точки перетинання  $s, s_1$  з кривою  $f(A_1)$  і одну точку торкання  $K_1$  (рис. 4, а), що визначає критичну частоту  $\omega_{кр7}$ .

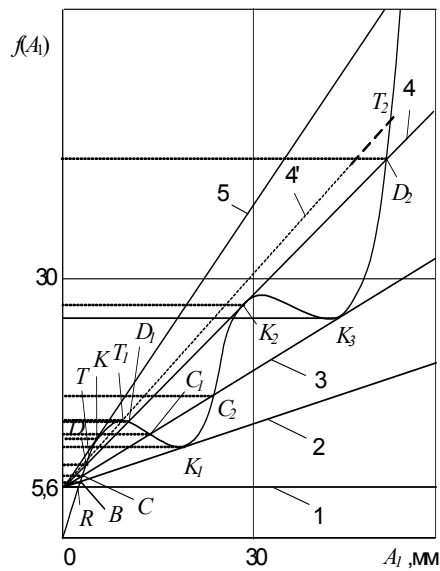
У діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  ця пряма не визначає жодного розв'язку. Значення амплітуди  $A_1$  на АЧХ для отриманих розв'язків позначено точками  $s, K_1, s_1$  (рис. 4, г). Лінії 6, 7, 8 і 9, що відповідають різним значенням  $N > 1,25$ , мають по одній точці перетинання з кривою  $f(A_1)$  у діапазоні  $0 \leq \varphi \leq \pi$  (рис. 4, а). Значення амплітуди  $A_1$  на АЧХ для даних розв'язків позначено точками  $j, n, t$  (рис. 4, г).



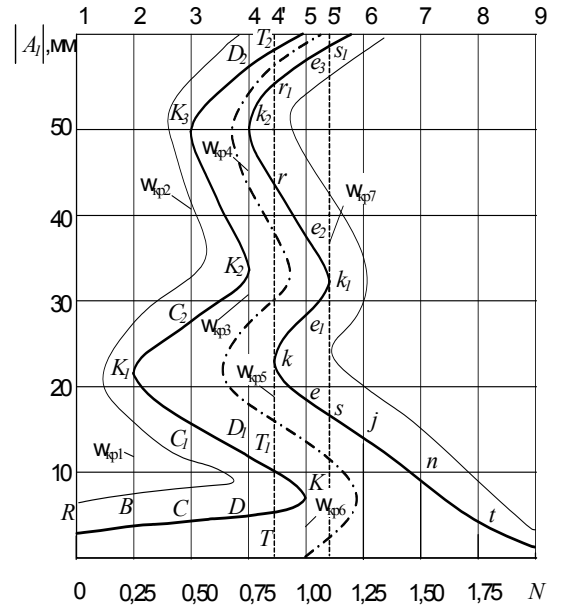
а



б



в



г

Рис. 4. Графічні розв'язки: а – рівняння (15) у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  ;  
 б – рівняння (16) у діапазонах  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  і  $0 \leq A_1 \leq 15$  мм;  
 в – рівняння (16) у діапазоні  $-\pi \leq \varphi \leq 0$  ; г – амплітудно-частотна характеристика

Отримана АЧХ має асимптоту (рис. 4,г, штрих-пунктирна лінія), яка відповідає випадку вільних коливань, коли амплітуда зовнішнього навантаження  $q = 0$ . Задаючи різні значення амплітуди зовнішнього навантаження  $q$  отримують відповідні АЧХ (рис. 4, в, тонкі суцільні лінії). Геометричне місце точок, що визначають критичні частоти в розглянутому діапазоні відношення  $N = \omega^2 / \rho^2$ , в залежності від значень фазового кута можна одержати також диференціюванням рівнянь (15) і (16).

При поступовому збільшенні частоти сили збурювання від  $\omega = 0$  до  $\omega = \omega_{кр4}$ , що відповідає «прямому» проходу резонансної частоти, амплітуда коливань системи  $A_1$  буде мінатися по кривій R, B, C, D, K, e, s, j, n, t (рис. 4, г). При цьому зростання резонансної амплітуди  $A_1$  обмежено «стрибком»  $K_1e$  зі зміною фазового кута на  $180^\circ$ .

При поступовому зменшенні частоти сили збурювання від  $\omega > \omega_{кр5}$  до  $\omega = 0$ , що відповідає «зворотному» проходу резонансної частоти, можливі кілька випадків зміни амплітуди  $A_1$ . У першому – найбільш сприятливому з погляду віброізоляції випадку амплітуда може змінюватися по кривій t, n, j, s, e, k, T, D, C, B, R. При цьому ріст резонансної амплітуди обмежений «стрибком» k, T зі зміною фазового кута на  $180^\circ$ . У другому випадку зміна амплітуди може відбуватися по кривій t, n, j, s, e, k, T<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, B, R. При цьому її зростання обмежене «стрибком» k, T<sub>1</sub> зі зміною фазового кута на  $180^\circ$ , а наступне зростання резонансної амплітуди T<sub>1</sub>D<sub>1</sub>K<sub>1</sub> обмежене «стрибком» K<sub>1</sub>B без зміни фазового кута. У третьому випадку амплітуда може змінюватися по кривій t, n, j, s, e, k, r, k<sub>2</sub>. Її подальша зміна через можливість «стрибків» амплітуди k<sub>2</sub>, T або k<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> може відбуватися по кривих T, D, C, B, R або T<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, B, R відповідно. У четвертому випадку резонансна амплітуда може змінюватися по кривій t, n, j, s, e, k, r, k<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> з наступним обмеженням одним «стрибком» K<sub>3</sub>, C або декількома, наприклад, K<sub>3</sub>C<sub>2</sub> і K<sub>1</sub>B або K<sub>3</sub>C<sub>1</sub> і K<sub>1</sub>B без зміни фазового кута. Таким чином, незважаючи на можливе тимчасове збільшення резонансної амплітуди на деяких ділянках АЧХ при зворотному проході резонансної частоти, таке зростання завжди обмежене.

В результаті виконаних досліджень доведено, що віброізолюючі пристрої з симетричною нелінійною пружною характеристикою, яка має дві ділянки нелінійного зменшення зведеної жорсткості і її збільшення, можуть бути рекомендовані для використання у якості антирезонансних опор машинних агрегатів, що працюють у широкому діапазоні частот збудження, зокрема, для технологічних машин вібраційної дії (грохотів, живильників, конвеєрів тощо).

#### Л і т е р а т у р а

1. Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л.Черноусько, Л.Д.Акуленко, Б.Н.Соколов – М.: Наука, 1980. – 384 с.
2. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П.Тимошенко, Д.Х.Янг, У.Уивер // Пер. с англ. Л.Г.Корнейчука, Под ред. Э.И.Григолюка. – М.: Машиностроение, 1985. – 427 с.
4. Сидоренко І.І., Козаченко Ю.М. Віброізолюючі пристрої з механічним зворотним зв'язком // Труды Одес. политехн. ун-та. – 2006. – Вып. 1(25). – С. 20-25.
5. Сидоренко И.И. Саморегулируемая упругая опора / Сб. науч. трудов НУК. – Николаев: Нац. універ. кораблестр. буд., 2007. – № 3 (412). – С. 30-35.

А.А.Шишкин

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ШКИВНЫХ ЖЕЛЕЗООТДЕЛИТЕЛЕЙ

В статье дана методика расчета тепловых и электрических параметров шкивных электромагнитных железоотделителей, учитывающая конструкцию электромагнита и условия теплоотдачи. Рис. 2, ист. 5.

Шкивные электромагнитные сепараторы различных конструкций широко применяются в обогащении, литейном производстве и других отраслях промышленности в качестве технологического оборудования. Вопросам их расчета всегда уделялось большое внимание, однако нынешние возможности математического моделирования с применением компьютерных технологий дают веские основания для переосмысления методик их исследования и проектирования.

Проектирование электромагнита шкива состоит в определении его параметров, удовлетворяющих требованиям технологии (извлечение ферромагнитных включений), эксплуатации (ограничение температуры нагрева) и производства (минимальная себестоимость).

Одной из важнейших задач проектирования магнитной системы шкива является тепловой расчет электромагнита. На практике он сводится к расчету теплоотдачи через усредненный ее коэффициент и площадь поверхности катушки [1], либо через некоторую постоянную [2] или изменяемую в зависимости от температуры удельную мощность рассеивания, определяемую экспериментально для одного типа электромагнитов [3, 4]. Такой подход к проектированию ограничивает возможности исследований при моделировании и удлиняет сроки выполнения работ. В [5] предложена методика, позволяющая определять параметры катушек намагничивания электромагнитов заданных размеров и температуры их нагрева при выбранном напряжении питания, однако она требует анализа тепловых потоков и разработки тепловой схемы замещения практически для каждой рассчитываемой конструкции.

Разработана методика математического моделирования теплопередачи электромагнитного шкива, основанная на методе конечных элементов. Она позволяет моделировать процесс теплопередачи электромагнита, определять параметры катушек намагничивания и температуры их нагрева при заданных геометрических размерах магнитной системы и выбранном напряжении питания.

Расчет производится в два этапа.

На первом этапе по заданной температуре нагрева катушки (принимается одинаковой для всей катушки) рассчитывается температурное поле в осевом сечении магнита, а на его основе рассчитывается число витков намагничивающих катушек и сечение провода, а также мощность, потребляемая магнитом. При этом решается смешанная краевая задача для уравнения теплопроводности Фурье в двусвязной области, в которой на внутренней части границы (наружный контур катушки) задаются граничные условия первого рода (температура), на внешней части границы – условия третьего рода (условия теплоотдачи).

Для решения поставленной задачи установившегося теплообмена осевое сечение шкива (рис 1) разбивается цилиндрическими поверхностями и плоскостями, перпендикулярными оси шкива Z, на ряд кольцевых конечных элементов, для которых задаются условия теплопередачи между внутренними элементами рассчитываемой области и условия теплоотдачи для элементов, расположенных на внешней ее границе.

Для произвольно выбранного в рассчитываемой области центрального и рядом стоящих с ним (в направлении осей  $\rho$  и  $z$ ) элементов, обозначенных на рис.2 цифрами 0, 1, 2, 3, 4 при установившемся теплообмене уравнение Фурье можно записать в виде:

$$\sum_{i=1}^4 Q_i(\rho, z) = 0. \quad (1)$$

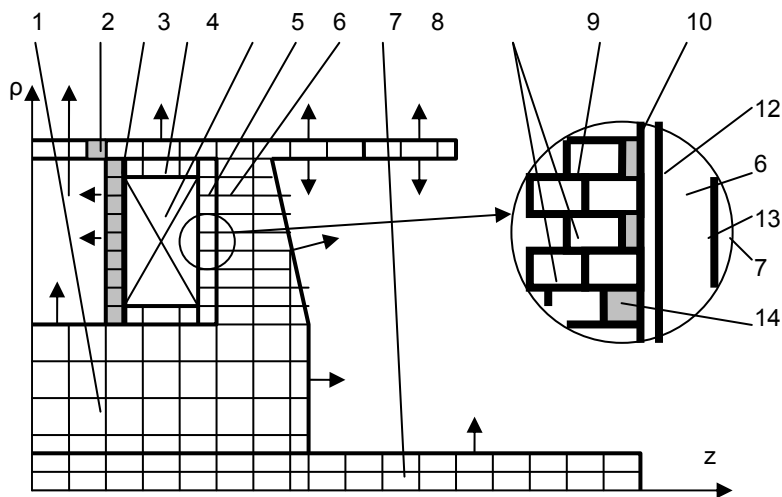


Рис. 1. Осевое сечение электромагнитного шкива  
 1 – магнитопровод, 2 – теплоотдающая вставка, 3 – изоляция, 4 – заливочная масса,  
 5 – катушка намагничивания, 6 – щека каркаса катушки, 7 – полюс, 8 – вал, 9 – проводник,  
 10 – изоляция проводника, 11 – стеклотекстолит, 12 – лаковая прослойка,  
 13 – воздушный зазор, 14 – зазор между витком провода и стеклотекстолитом

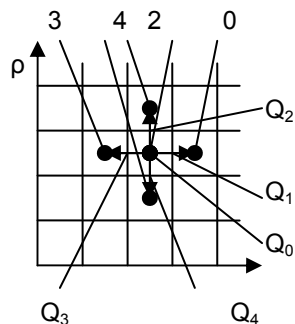


Рис. 2. Схема обозначения точек и потоков тепла

Уравнение 1 на основании закона Ньютона преобразуется к виду:

$$\frac{T_0 - T_1}{R_{01}} + \frac{T_0 - T_2}{R_{02}} + \frac{T_0 - T_3}{R_{03}} + \frac{T_0 - T_4}{R_{04}} = 0, \quad (2)$$

где  $T_0, T_1, T_2, T_3, T_4$  – температуры в центре соответствующих номерам элементов;  $R_{01}, R_{02}, R_{03}, R_{04}$  – сопротивления теплопередаче между элементами с номерами, обозначенными в индексах.

Решив это уравнение относительно температуры центрального узла, получим общее выражение для расчета температурного поля магнитной системы:

$$T_0 = \frac{T_1/R_{01} + T_2/R_{02} + T_3/R_{03} + T_4/R_{04}}{1/R_{01} + 1/R_{02} + 1/R_{03} + 1/R_{04}}. \quad (3)$$

Величины сопротивлений теплопередаче между элементами внутри магнитной системы определяются по выражению:

$$R_{Ti} = \frac{\delta_i}{\lambda_i S_i}, \quad (4)$$

где  $\delta_i$  - толщина слоя материала, для которого определяется тепловое сопротивление,  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала,  $S_i$  – площадь поверхности, через которую передается тепло.

Сопротивления на границе, через которую тепло отдается в окружающую среду, определяется по выражению:

$$R_{ai} = \frac{1}{\alpha_i S_i}, \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент отдачи тепла в окружающую среду с соответствующей поверхностью.

Тепло в окружающую среду отдается за счет теплопроводности, конвективного теплообмена и излучения, но обычно конвективный теплообмен учитывает и передачу тепла теплопроводностью, поэтому при расчете теплоотдачи с поверхности шкива учитывается теплоотдача конвекцией и излучением:

$$\alpha = \alpha_{\dot{e}} + \alpha_{\dot{e}}. \quad (6)$$

Коэффициенты отдачи тепла конвекцией  $\alpha_k$  и излучением  $\alpha_{\dot{e}}$  определяются для каждого элемента поверхности в зависимости от его расположения и температуры поверхности по выражениям:

$$\alpha_{\dot{e}} = \dot{A} \left( \frac{\dot{Q} - \dot{Q}_f}{l} \right)^{1/4}, \quad (7)$$

$$\alpha_{\dot{e}\dot{c}\dot{e}} = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \varphi}{\dot{Q} - \dot{Q}_f} \left[ \left( \frac{\dot{Q}}{100} \right)^4 - \left( \frac{\dot{Q}_0}{100} \right)^4 \right], \quad (8)$$

где  $\dot{A}$  – коэффициент, зависящий от температуры и расположения поверхности, отдающей тепло;  $T, T_0$  – температуры поверхности нагретого тела и окружающей среды;  $\sigma$  – постоянная излучения;  $\varepsilon$  – коэффициент, зависящий от типа поверхности и ее состояния;  $\varphi$  – угловой коэффициент, зависящий от расположения элемента и условий теплоотдачи.

Записав уравнения 3 для всех конечных элементов, получают систему уравнений, описывающую процесс передачи тепла.

Задача расчета температурного поля решается итерационным методом в такой последовательности:

1. Задаются размеры и параметры магнитной системы и отдельных ее элементов, участвующих в процессе передачи тепла.
2. Задается температура катушки и окружающей среды.
3. Задаются выражения для определения сопротивлений теплопередачи для всех элементов рассматриваемой области.
4. Задается порядок обхода элементов области при расчете поля.
5. Полученная информация вводится в память ПК и задача решается с применением электронных таблиц.

В результате расчетов в ячейках электронной таблицы получаем температуры элементов рассматриваемой области.

По значениям температуры на поверхности шкива, вычисленным значениям коэффициентов теплоотдачи, площади кольцевых элементов поверхности численным интегрированием определяется мощность, отдаваемая с поверхностей магнитной системы в окружающую среду:

$$Q = \sum_{i=1}^{\dot{e}} \frac{T_{ii} - T_f}{R_{ai}}. \quad (9)$$

Величина  $R_T$  для данной конструкции электромагнитного шкива определяется по выражению:

$$R_T = \frac{\dot{Q}_{\dot{e}} - \dot{Q}_f}{Q}. \quad (10)$$

Полагая равными мощности, выделенную в катушке и отданную с поверхности шкива равными, получают уравнения теплового баланса:

$$\frac{T_k - T_{cp}}{R_T} = \frac{U^2 \cdot \dot{I} \dot{A} \cdot 255 \cdot I_0 \cdot h_0 \cdot K_C}{\rho_{i_0} \cdot I_{cp} \cdot W^2 \cdot (235 + T_k)}. \quad (11)$$

Решая полученное уравнение относительно  $W$ , определяют необходимое число витков катушки и ориентировочное сечение провода:

$$W_i = \sqrt{\frac{R_T \cdot U^2 \cdot \dot{I} \dot{A} \cdot 255 \cdot I_0 \cdot h_0 \cdot K_C}{\rho_{i_0} \cdot I_{cp} \cdot (235 + T_k) \cdot (T_k - T_{cp})}}; S_{np} = \frac{I_0 \cdot h_0 \cdot K_C}{W} \quad (12)$$

Размеры и сечение провода выбирают из известной номенклатуры. Окончательное число слоев в катушке и витков в слое определяется ее конструкцией и геометрическими размерами, а также выбранными размерами провода.

Для оценки точности предложенной методики расчета с ее помощью моделировали теплоотдачу серийной модели шкива ШЭ 65-63, выпускавшейся в больших количествах, что позволило собрать достаточную статистику для исследований. Среднее значение теплового сопротивления серийного шкива  $R_T$  определяли по результатам заводских испытаний с достоверностью 0,99. В результате статистической обработки получили  $R_T=0,08984$  при среднестатистическом перегреве  $97^\circ\text{C}$ . Расчетное значение  $R_T=0,0897$  при перегреве  $120^\circ\text{C}$ . Приведение условий моделирования к среднестатистическим показало, что величина ошибки моделирования составляет всего 2,9%.

На втором этапе тепловой расчет магнитной системы повторяется. При этом катушка заменяется системой конечных элементов, для которых уравнение Фурье запишется в виде:

$$\sum_{i=1}^4 Q_i(\rho, z) = Q(\rho, z) \quad (13)$$

Тогда для уравнений, моделирующих катушку можно записать:

$$T_0 = \frac{T_1/R_{01} + T_2/R_{02} + T_3/R_{03} + T_4/R_{04} + Q_0}{1/R_{01} + 1/R_{02} + 1/R_{03} + 1/R_{04}} \quad (14)$$

Расчет температур в конечных элементах производится аналогично предыдущему, но при условии, что для элементов моделирующих катушку справедливо выражение 14, а для остальных - 3.

Анализ результатов моделирования показал, что максимальная температура в пределах катушки превышает усредненную рассчитываемую при испытаниях не более чем на  $10^\circ\text{C}$ .

Следовательно, предлагаемая методика может быть применена для практических расчетов и исследования магнитных систем различных конструкций.

#### Л и т е р а т у р а

1. Никитенко А.Г. Проектирование оптимальных электромагнитных механизмов. – М.: Энергия, 1974. – 136 с.
2. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.
3. Буль Б.К., Карташян В.О., Нестеренко А.П. проектирование оптимальных электромагнитных систем подвесных железо отделителей // Электротехника. 1981. - №4 – С. 54-57.
4. Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов. – К.: ИЗМН, 1996. – 488 с.
5. Шишкин А.А. Тепловой расчет магнитных систем // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч.1. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. – С. 154-160.

Ю.А.Харламов, А.В.Шевченко

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ЯДРА В ПЛАКИРУЮЩЕЙ ОБОЛОЧКЕ ЧАСТИЦ ПРИ НАПЫЛЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ**

Разработана математическая модель процесса диффузионного растворения ядра в плакирующей оболочке частиц при напылении плакированных композиционных порошков. Предложен компьютерный вариант реализации разработанной математической модели. Ист. 4.

В настоящее время для нанесения функциональных покрытий все большее применение находят композиционные порошки. В процессе движения частиц порошков в высокотемпературной газовой струе между компонентами, которые входят в состав частиц, может протекать диффузионное и химическое взаимодействие. Степень протекания такого взаимодействия зачастую определяет прочность сцепления, объемную прочность, микротвердость, износостойкость и другие свойства покрытий. К порошкам, в частицах которых при нагревании возможно протекание интенсивного диффузионного взаимодействия между отдельными компонентами, входящими в состав частиц, относятся плакированные и когломератные композиционные порошки систем “Ni - TiC”, “Ni - WC”, “Ni - Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>”, “Ni - Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>”, “Ni - Ti”, “Ni - Al” [1]. Для плазменного и газоплазменного напыления покрытий наиболее часто используются плакированные порошки. В частицах этих порошков никель выполняет роль плакирующей оболочки, а TiC, WC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Ti, Al – роль ядра. Толщина плакирующей оболочки составляет 5...15 мкм, диаметр ядра – 50...100 мкм.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что до настоящего времени не разработаны надежные инженерные методики, позволяющие оценивать степень диффузионного взаимодействия между компонентами частиц композиционных порошков в зависимости от их температуры и агрегатного состояния [1 - 4].

Целью настоящей работы является разработка математической модели, позволяющей оценивать скорость растворения материала ядра в расплавленной плакирующей оболочке частиц при напылении плакированных композиционных порошков.

Кинетика растворения материала ядра в расплаве плакирующей оболочки относится к условиям внешней задачи. Суммарная скорость процесса растворения ядра может быть определена с помощью модифицированного уравнения Нернста - Шукарева [1]:

$$\frac{dc_{я}}{d\tau} = \frac{S_{я} \cdot D}{V_{об} \cdot \delta_{п}} \cdot (c_{к} - c_{я}), \quad (1)$$

где  $c_{я}$  – текущая концентрация материала ядра в расплавленной оболочке; в начальный момент времени ( $\tau = 0$ )  $c_{я} = 0$ ;  $\tau$  – время растворения;  $S_{я}$  – текущая площадь внешней поверхности ядра;  $V_{об}$  – текущий объем расплава оболочки;  $D$  – коэффициент диффузии;  $\delta_{п}$  – толщина пограничного слоя;  $c_{к}$  – конечная концентрация материала ядра в расплавленной оболочке.

Величина  $c_{к}$  обычно принимается равной исходной массовой доле ядра в частице. Например, для частицы композиционного порошка 20 % Ni - 80 % WC величина  $c_{к} = 0,8$ . При этом по уравнению (1) рассчитывается время, необходимое для полного растворения ядра из карбида вольфрама в никелевой оболочке.

Во время растворения ядра его диаметр уменьшается, соответственно уменьшается и площадь его внешней поверхности  $S_{я}$ . Объем расплава оболочки возрастает и достигает максимального значения (объема всей частицы) после полного растворения ядра ( $c_{я} = c_{к}$ ).

Запишем уравнение (1) в виде:

$$\frac{m_{об} \cdot \delta_{п}}{\rho_{об} S_{я} \cdot D \cdot (c_{к} - c_{я})} \cdot dc_{я} = d\tau, \quad (2)$$

где  $m_{об}$  – текущая масса расплава оболочки;  $\rho_{об}$  – плотность материала оболочки.

Концентрация материала ядра в расплавленной оболочке определяется как:

$$c_{я} = \frac{m_{яп}}{m_{яп} + m_{об(0)}}, \quad (3)$$

где  $m_{яп}$  – масса материала ядра, растворенная в оболочке;  $m_{об(0)}$  – масса расплава оболочки до начала процесса растворения в ней ядра.

Из уравнения (3) можно выразить массу материала ядра, растворенную в расплавленной плакирующей оболочке, через концентрацию материала ядра в оболочке:

$$m_{яп} = \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}}. \quad (4)$$

Очевидно, что масса расплава оболочки будет возрастать на величину  $m_{яп}$ :

$$m_{об} = m_{об(0)} + \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}}, \quad (5)$$

а масса ядра будет уменьшаться на величину  $m_{яп}$ :

$$m_{я} = m_{я0} - \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}}, \quad (6)$$

где  $m_{я0}$  – масса ядра до начала процесса растворения.

Площадь внешней поверхности ядра определяется как  $S_{я} = 4\pi \cdot r_{я}^2$ , где  $r_{я}$  – радиус ядра.

Выразим изменение радиуса ядра через изменение его массы ( $m_{я}$ ):  $r_{я} = \sqrt[3]{\frac{3m_{я}}{4\pi}}$ . С учетом выражения (6) радиус ядра в процессе его растворения будет изменяться по уравнению:

$$r_{я} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \left( m_{я0} - \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}} \right)}{4\pi}}, \quad (7)$$

а площадь внешней поверхности ядра – по уравнению:

$$S_{я} = 4\pi \cdot \left[ 3 \cdot \left( m_{я0} - \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}} \right) / 4\pi \right]^{\frac{2}{3}}. \quad (8)$$

Подставляя (5) и (8) в (2), получим дифференциальное уравнение растворения материала ядра в расплавленной оболочке:

$$\frac{\left( m_{об(0)} + \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}} \right) \cdot \delta_{п}}{4\pi \cdot \left[ 3 \cdot \left( m_{я0} - \frac{c_{я} \cdot m_{об(0)}}{1 - c_{я}} \right) / 4\pi \right]^{\frac{2}{3}}} \cdot dc_{я} = d\tau. \quad (9)$$

Полученное уравнение учитывает изменение размеров ядра в процессе его растворения в оболочке и изменение площади поверхности, по которой происходит диффузионное взаимодействие между ядром и оболочкой. Вместо постоянного коэффициента диффузии  $D$  в уравнении (9) может быть задана его температурная зависимость  $D(T)$ , если известна зависимость температуры исследуемой системы от времени  $T(\tau)$ . Совмещением функций  $D(T)$  и  $T(\tau)$  находят функцию  $D(\tau)$

и подставляют ее в уравнение (9). Кроме этого, в уравнение (9) может быть введена зависимость коэффициента диффузии от разности концентраций ( $c_k - c_j$ ).

Поскольку в уравнении (9) произведено разделение переменных, его можно решить непосредственным интегрированием правой и левой частей. Время, необходимое для полного растворения ядра в расплавленной оболочке, определится как:

$$\tau = \int_0^{c_k} \frac{\left( m_{об(0)} + \frac{c_j \cdot m_{об(0)}}{1 - c_j} \right) \cdot \delta_n}{4\pi \cdot \left[ 3 \cdot \left( m_{я0} - \frac{c_j \cdot m_{об(0)}}{1 - c_j} \right) / 4\pi \right]^{\frac{2}{3}} \cdot \rho_{об} \cdot D \cdot (c_k - c_j)} \cdot dc_j \quad (10)$$

Величины начальной массы ядра  $m_{я0}$  и начальной массы расплава оболочки  $m_{об(0)}$  определяются согласно геометрическим параметрам частиц:

$$m_{я0} = \frac{4}{3} \pi \cdot \rho_j (r_{я0})^3 \quad (11)$$

$$m_{об(0)} = \frac{4}{3} \pi \cdot \rho_{об} (r_p^3 - r_{я0}^3), \quad (12)$$

где  $r_p$  – радиус частиц.

Массовое содержание ядра в исходной частице до момента начала его растворения в плакирующей оболочке определяется как:

$$c_k = \frac{m_{я0}}{m_{я0} + m_{об(0)}} \quad (13)$$

Для решения уравнения (10) следует использовать численные методы интегрирования, поскольку в аналитическом виде получить его решение крайне сложно. Для численных расчетов с использованием ЭВМ уравнение (10) более удобно представить в виде:

$$\tau_i = \int_0^{c_i} \frac{\left( m_{об(0)} + \frac{c_j \cdot m_{об(0)}}{1 - c_j} \right) \cdot \delta_n}{4\pi \cdot \left[ 3 \cdot \left( m_{я0} - \frac{c_j \cdot m_{об(0)}}{1 - c_j} \right) / 4\pi \right]^{\frac{2}{3}} \cdot \rho_{об} \cdot D \cdot (c_k - c_j)} \cdot dc_j, \quad (14)$$

где  $i$  – номера элементов в массивах  $\tau_i$ ;  $c_i$  (нумерация элементов массивов начинается с нуля);  $c_i = c_{i-1} + \Delta c$ ,  $\Delta c$  – шаг изменения концентрации материала ядра в расплавленной оболочке.

Количество элементов массивов  $\tau_i$ ;  $c_i$  принимается в зависимости от шага изменения концентрации материала ядра ( $\Delta c$ ) в оболочке. С уменьшением  $\Delta c$  пропорционально возрастает число элементов в массивах  $\tau_i$ ;  $c_i$ .

Начальные условия для численного интегрирования уравнения (14):  $\tau_0 = 0$ ;  $c_0 = 0$ .

На основе полученного массива данных ( $\tau_i$ ;  $c_i$ ) можно построить зависимость концентрации материала ядра в расплавленной оболочке ( $c_j$ ) от времени диффузионного взаимодействия ( $\tau$ ). При  $c_i/c_k = 1$  материал ядра полностью растворяется в оболочке.

Вывод. Разработана математическая модель процесса диффузионного растворения ядра в плакирующей оболочке частиц при напылении плакированных композиционных порошков.

#### Л и т е р а т у р а

1. Газо-термическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик., Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М. Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
2. Production of Titanium Chromium Diboride Powders for Plasma Spraying / Nечeporenko A.S., Knyshev E.A., Klinskaya N.A. International Thermal Spray Conference. – Orlando. Florida. – 1992. – P. 12-18.

3. Клинская Н.А., Королева Е.Б., Петруничев В.А. Получение и свойства металлизированных боридных порошков // Физика и химия обработки материалов. – 1990. – № 5. – С. 42 - 47.
4. Нечипоренко А.С., Клинская Н.А., Степанова З.Г. Изучение взаимодействия диборида титана-хрома с жидкой металлической фазой при плазменном напылении // В сб. Бориды. – ИПМ им. Францевича. – Киев. – 1990. – С. 20 - 25.

УДК 656.27

**Н.Б.Чернецька, Ю.В.Калашнікова**

### **МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАНТАЖОПОТОКІВ НА ОПОРНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ**

Розглянуто математичні методи вирішення завдання підвищення рівня використання технічних засобів станцій. Найбільш ефективною є концентрація вантажопотоків на меншій кількості станцій. Застосування цього методу шляхом визначення оптимального рівня концентрації вантажопотоків на станції дозволяє скоротити число станцій, виконати раціональний розподіл об'ємів роботи між станціями, удосконалити розміщення залізничних станцій і оптимізувати взаємодію магістрального і промислового залізничного транспорту. Дж. 5.

Перевезення масових вантажів найбільш ефективно залізничним транспортом. Паливні вантажі, і в першу чергу кам'яне вугілля, є масовими. Реструктуризація вугільної промисловості, яка викликала перерозподіл вантажопотоків кам'яного вугілля, має великий вплив на роботу Донецької залізниці. У сучасних умовах для Донецького регіону завдання ефективного використання існуючих технічних засобів залізничних станцій для забезпечення безперервного і своєчасного перевезення вантажів є найбільш актуальним. Питання підвищення ефективності роботи залізниць значною мірою залежить від визначення оптимальної кількості вантажних станцій, оптимального об'єму роботи однієї вантажної станції і розподілу вантажопотоків між станціями на полігоні.

Вирішення цієї проблеми можливе шляхом отримання додаткового прибутку завдяки розширенню транспортного обслуговування і надання додаткових послуг або завдяки зменшенню витрат на переробку вантажопотоку при підвищенні рівня використання існуючих технічних засобів. У свою чергу, рівень використання технічних засобів залежить від об'єму вантажопотоку, який переробляється на залізничній станції. Таким чином, концентрація вантажопотоків на опорних станціях, які мають високий рівень технічного оснащення, дозволить підвищити рівень використання технічних засобів цих станцій.

Умовами формування торгових зон встановлено, що відстань, яку вантажовласник здатний подолати для отримання послуги, у тому числі і транспортної, залежить від щільності розташування споживачів на полігоні. Отже, чим менше концентрація підприємств на даній ділянці, тим менш розвинена мережа під'їзних шляхів, легше здійснити їх примикання до залізничної станції, тим більша вірогідність, що вантажовласник вважатиме за краще направити вантажопотоки на найближчу станцію. Одночасно з цим розподіл вантажопотоків між опорними станціями має враховувати важливість якості транспортного обслуговування, що надається, для кожного вантажовласника з якістю обслуговування на станціях, що також розглядається як принцип визначення районів тяжіння в сучасних умовах.

Потреби в транспортному обслуговуванні в районі концентрації має задовольняти така мінімальна кількість станцій, щоб був освоєний весь вантажопотік, витрати залізниці на обслуговування району були найменшими і рівень використання технічних засобів залізничних станцій був оптимальним.

Хай  $F$  – площа району, на якому проводиться концентрація вантажопотоків,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_j\}$  – безліч залізничних станцій на полігоні,  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_j\}$  – безліч вантажовласників, розташованих в районі і таких, що обслуговуються залізничним транспортом.

Дослідженнями полігону встановлюється, що вантажовласники пред'являють  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$  вимоги до якості транспортного обслуговування, причому підприємство звернеться на дану станцію, якщо буде надане транспортне обслуговування якості  $U(m_j, n_1), U(m_j, n_2), \dots, U(m_j, n_k)$ . Залізничні станції, враховуючи існуюче оснащення для ви-

конання технічних, комерційних операцій, географічного і адміністративного стану і доступності (для підприємств вугільної промисловості це виражається в наявності примикання під'їзних шляхів до станції), можуть надати послуги такої якості  $P(s_i, n_1), P(s_i, n_2), \dots, P(s_i, n_k)$ . Вантажовласники звернуться на станції для отримання транспортного обслуговування, якщо рівень якості обслуговування відповідає вимогам, що пред'являються.

Крім того, радіус району тяжіння однієї станції обмежений  $R_{S_i}$  і відстань, яку здатний подолати вантажовласник для отримання транспортного обслуговування, обмежено  $R_{m_j}$ , причому в зонах з високою щільністю розподілу промислових підприємств вантажовласник має подолати більшу відстань до транспортного підприємства (опорної станції), ніж в зонах з низькою щільністю промислових підприємств.

Якщо  $l_{ij}$  – відстань між залізничною станцією і вантажовласником, то вантажопотік може бути перероблений на станції, якщо він знаходиться в радіусі її району тяжіння  $R_{S_i} \geq l_{ij}$ ; і навпаки, вантажовласник направить вантажопотік на станцію, якщо до неї відстань не більше, ніж він здатний подолати  $R_{m_j} \geq l_{ij}$ . Причому загальна площа районів тяжіння всіх станцій полігону не менше площі даного району концентрації  $F \leq \pi R_{S_i}^2$ , тобто транспортним обслуговуванням повинен бути охоплений весь даний вугледобувний район.

Найбільш раціональним є такий варіант концентрації вантажопотоків, при якому з урахуванням обумовлених обмежень витрати на переробку вантажопотоку в даному районі будуть мінімальними.

У загальному виді завдання формулюється так:

$$R = \min_{Q_i} \sum_{i=1}^Z Q_i C_{\text{пер}i} \quad (1)$$

За таких обмежень:

$$\begin{cases} Q_i \geq 0, \\ \sum Q_i = Q, \\ 1 \leq s \leq Z \end{cases} \quad (2)$$

де  $Q_i$  – об'єм переробки  $i$ -ої станції примикання, т;  $C_{\text{пер}i}$  – вартість переробки вантажопотоку на  $i$ -ої опорній станції, грн/т;  $Q$  – потужність досліджуваного матеріального потоку полігону, т;  $Z$  – деяка гранична величина  $s$ .

Сумарні витрати, що залежать від кількості опорних станцій на досліджуваному полігоні, становлять:

$$R(s) = Qc_T + \frac{Q}{q}(c_K + \omega_0 c_0) + as, \quad (3)$$

де  $c_T$  – питома вартість технічного обслуговування вантажопотоку (накопичення вагонів на склад), грн/т;  $c_K$  – питома вартість комерційного обслуговування вантажопотоку (оформлення комплексу документів, візування і ін.), грн/ваг.;  $\omega_0$  – довжина інформаційного повідомлення, віднесена до партії вантажу;  $c_0$  – вартість біти повідомлення, грн;  $q$  – розмір однієї наданої відправником відправки, т;  $a$  – витрати на адміністративно-управлінське обслуговування однієї опорної станції, грн.

Розглянемо складові витрат на функціонування транспортного комплексу. Перший доданок функції (3) виражає витрати на технічне обслуговування вантажопотоку, які складаються з витрат на накопичення вагонів на склад і його формування на опорній станції; другий доданок відображає витрати на документування і на інформаційне обслуговування вантажопотоку, залежать

від кількості оформлених відправок; останній доданок враховує адміністративно-управлінські витрати на обслуговування полігону.

Слід зазначити, що при збільшенні числа опорних станцій на полігоні зростають адміністративно-господарські витрати, загальні витрати на виконання транспортного обслуговування і разом з тим знижуються витрати на доставку вантажу від відправника до опорної станції. Таким чином, завдання зводиться до пошуку компромісного рішення – дослідженням екстремуму цільової функції.

Позначивши рівень концентрації вантажопотоків на опорних станціях полігону через  $\eta = Q/s$  і підставляючи  $s = Q/\eta$ , перетворимо вираз  $R(s)$ :

$$R(\eta) = \eta s c_T + \frac{\eta s}{q} (c_k + \omega_0 c_0) + a \frac{Q}{\eta}. \quad (4)$$

Для пошуку оптимального значення  $\eta$  продиференціюємо вираз  $R(\eta)$ , оскільки функція безперервна і має безперервну частинну похідну за змінною  $\eta$ :

$$\frac{dR}{d\eta} = s c_T + \frac{s}{q} (c_k + \omega_0 c_0) - \frac{aQ}{\eta^2} = 0. \quad (5)$$

Розв'язуючи рівняння, можна визначити оптимальний рівень концентрації транспортного сервісу:

$$\eta = \sqrt{\frac{aQ}{s c_T + \frac{s}{q} (c_k + \omega_0 c_0)}}. \quad (6)$$

Встановлений рівень концентрації дозволяє при певному вантажопотоці даного полігону встановити кількість опорних станцій, за яких функціонування транспортного комплексу на полігоні є економічно ефективним.

**Висновки: 1.** Сформовано умови розподілу транспортних потоків на полігоні, які враховують сучасні умови господарювання, технічну оснащеність перевізника і економічну ефективність функціонування полігону. Для полігону вуглевидобувного регіону характерною є широко розвинена мережа під'їзних шляхів, що обумовлює доставку вантажів на опорні станції промисловим залізничним транспортом. Це дозволяє зробити ряд допущень при визначенні витрат магістрального транспорту при пошуку компромісного рішення.

2. Виконано математичну постановку завдання концентрації вантажопотоків на опорних станціях. Визначено складові витрат на функціонування залізничного транспорту у вуглевидобувному районі: витрати на технічне обслуговування вантажопотоку, на документування, на інформаційне обслуговування і адміністративно-управлінські витрати з обслуговування полігону.

#### Література

1. Нечеткие множества и теория возможностей / Под ред. Р.Ягера. – М.: Радиосвязь, 1986. – 405 с.
2. Данько М.І., Кизим О.В. Умови функціонування опорних станцій на полігоні вуглевидобувного регіону // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004 – № 2. – С. 77-79.
3. Кизим О. В. Методика вибору опорних станцій на полігоні концентрації комерційної роботи // Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 2001. – вип. 47. – С. 51 – 55.
4. Пути и методы реструктуризации железных дорог // Железные дороги мира. – 1997. - № 4. – С. 9-16.
5. Запара В.М., Кизим О.В. Вплив реструктуризації вугільної промисловості на роботу вантажних станцій // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. – № 6. – С. 44-46.

О.Ю.Арлинский, И.Г.Дейнека, А.А.Мычко, В.П.Гуляков

## МЕТОД ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ПАКЕТА

В статье рассмотрены нестационарные процессы теплопередачи в теплоизоляционном пакете и предложена методика аппроксимации зависимости температуры на внутренней стороне пакета от теплофизических свойств материалов, входящих в пакет, толщины пакета и времени. Рис. 2, табл. 4, ист. 6.

Проблема теплозащиты является одной из основных в деятельности пожарных, горноспасателей, а также рабочих в цехах термохимических производств черной и цветной металлургии, при горячей обработке металлов и в других производствах, связанных с выделением большого количества теплоты от материалов и агрегатов. Опасность указанных работ состоит в том, что они характеризуются высокими термическими нагрузками на человека в результате вредного теплового воздействия на его организм внешней нагревающей среды. Такие условия труда неизбежно связаны с повышенным профессиональным риском для здоровья человека, а порой и для его жизни. Тепловое воздействие на организм может привести к его перегреванию и тепловому удару. Поэтому одной из важных задач является разработка средств индивидуальной защиты от высокотемпературного воздействия. Как правило, средства индивидуальной защиты от высокотемпературного воздействия создаются на основе многослойных термозащитных пакетов.

При разработке термозащитных пакетов ведущую роль играет правильный выбор материалов в составе пакета, который базируется на оценке его теплозащитных свойств. Оценка теплозащитных свойств пакета сводится к нахождению зависимости температуры на внутренней стороне пакета от теплофизических свойств материалов, толщины пакета и времени.

Исследовательские и практические работы в области создания термозащитных пакетов ведутся достаточно давно, они зачастую сводятся к разработке и испытанию новых материалов, что является одним из самых важных факторов, но не единственным, так как за счет лишь свойств материалов невозможно обеспечить весь комплекс требований, предъявляемых к спецодежде.

В настоящее время при разработке новых видов термозащитных пакетов применяются методы и оценки теплозащитных свойств пакета в конечных разностях [1], что приводит к ошибкам в результатах.

Целью настоящей работы является аппроксимация зависимости температуры на внутренней стороне пакета от теплофизических свойств материалов, толщины пакета и времени.

Рассматривается неограниченный плоский термозащитный пакет, состоящий из N прослоек: от 0 до  $R_1$  – первая прослойка; от  $R_{i-1}$  до  $R_i$  – i-тая прослойка; от  $R_{N-1}$  до  $R_N$  – N-я прослойка. Высокотемпературное поле  $T_N$  воздействует справа от пакета, а защищаемый объект слева от него (см. рис. 1).

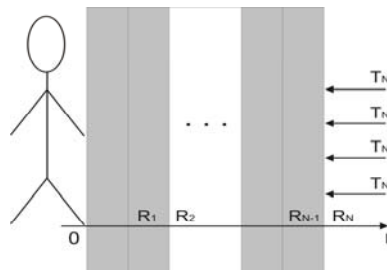


Рис. 1. Термозащитный пакет в высокотемпературном поле

В работе [2] с использованием результатов из исследования [3] получена зависимость температуры термозащитного пакета на внутренней стороне в зависимости от времени, теплофизических характеристик материалов и толщины пакета (1).

$$V = B_1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_{i,n} \sin(\varphi_{i,n}) \cdot e^{-\nu_n^2 t} \cdot \sum_{m=1}^N \left( \frac{K_m}{k_m} C_{m,n} \cdot \int_0^{R_m} (T_0 - A_m r_m - B_m) \sin\left(\frac{\nu_n r_m}{\sqrt{k_m}} + \varphi_{m,n}\right) dr_m \right)}{0,5 \cdot \sum_{m=1}^N \left( \frac{K_m}{k_m} C_{m,n} \left( R_m - \frac{\sqrt{k_m}}{\nu_m} \left( \sin\left(\frac{\nu_n R_m}{\sqrt{k_m}} + \varphi_{m,n}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu_n R_m}{\sqrt{k_m}} + \varphi_{m,n}\right) - \sin(\varphi_{m,n}) \cdot \cos(\varphi_{m,n}) \right) \right) \right)}, \quad (1)$$

где  $V$  - температура на внутренней стороне пакета;  $k_i = \frac{K_i}{c_i \rho_i}$  - температуропроводность  $i$ -той прослойки;  $K_i$  - теплопроводность;  $c_i$  - удельная теплоемкость;  $\rho_i$  - плотность;  $T_0$  - начальная температура пакета;  $T_1$  - температура защищаемого объекта;  $T_N$  - температура на внешней стороне пакета (температура источника);  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи защищаемого объекта;

$$A_i = \frac{T_N - T_1}{K_i \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{k=1}^N \frac{R_k}{K_k} \right)};$$

$$B_i = T_N - \frac{(T_N - T_1) \left( \frac{R_i}{K_i} + \sum_{k=i+1}^N \frac{R_k}{K_k} \right)}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{k=1}^N \frac{R_k}{K_k} \right)};$$

$$\varphi_{1,n} = \arctg \left( \frac{K_1 v_n}{\alpha_1 \sqrt{k_1}} \right);$$

$$\varphi_{j+1,n} = \arctg \left( \frac{K_{j+1} \sqrt{k_j}}{K_j \sqrt{k_{j+1}}} \operatorname{tg} \left( \frac{v_n R_j}{\sqrt{k_j}} + \varphi_{j,n} \right) \right);$$

$$C_{1,n} = 1;$$

$$C_{j+1,n} = C_{j,n} \frac{\sin \left( \frac{v_n R_j}{\sqrt{k_j}} + \varphi_{j,n} \right)}{\sin(\varphi_{j+1,n})};$$

$v_n$  - положительные, упорядоченные по возрастанию корни уравнения  $\sin \left( \frac{v R_N}{\sqrt{k_N}} + \varphi_N \right) = 0$ .

Для вычислений по формуле (1) составлена компьютерная программа.

При расчетах рассматривались три материала (см. табл. 1) из них составлены восемь термоизоляционных пакетов (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Материалы и их теплофизические характеристики**

Код образца	Материал	Теплопроводность, вт/м*град	Удельная теплоемкость, дж/кг*град	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температуропроводность, м <sup>2</sup> /с
Кн	Кожа натуральная	0,105	1566	1870	3,5856*10 <sup>-8</sup>
Ки	Искусственная кожа	0,102	1839	1525	3,6370*10 <sup>-8</sup>
ОО1	Полиуретановое покрытие на нетканом полотне	0,07	1422	1250	3,9381*10 <sup>-8</sup>

Термоизоляционные пакеты

№ пакета	Пакет	Толщина образца в пакете, мм		
		Нк	Ик	О1
1	НкИкО1	1,7	0,9	0,5
2	НкИкО1	1,9	0,9	0,5
3	НкИкО1	1,7	1,1	0,5
4	НкИкО1	1,9	1,1	0,5
5	НкИкО1	1,7	0,9	0,6
6	НкИкО1	1,9	0,9	0,6
7	НкИкО1	1,7	1,1	0,6
8	НкИкО1	1,9	1,1	0,6

В качестве защищаемого объекта рассматривался человек. Средневзвешенный коэффициент теплоотдачи человека  $\alpha_1 \approx 9,1$ , средневзвешенная температура человека  $T_1 = 33^{\circ}\text{C}$ , критическая температура для человека  $50^{\circ}\text{C}$  [4].

На основе формулы (1) проведены расчеты (см. табл. 3), при температуре на внешней стороне  $T_N = 500^{\circ}\text{C}$  и начальной температуре пакета  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 3

Результаты расчетов

№ пакета	Время достижения критической температуры на внутренней стороне пакета 50С, с
1	175
2	204
3	194
4	225
5	179
6	209
7	199
8	231

Расчеты показали (рис. 2), что зависимость температуры  $V$  от времени приближенно является линейной  $V = at + b$  в промежутке температур  $[33^{\circ}\text{C}; 50^{\circ}\text{C}]$ . Коэффициенты  $a$  и  $b$  зависят (при фиксированных теплофизических параметрах каждого слоя) от толщин слоев.

Будем искать коэффициенты  $a$  и  $b$  в виде линейных зависимостей

$$a = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i * r_i, \quad b = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i * r_i,$$

где  $r_i = R_i - R_{i-1}$  - толщина  $i$ -го слоя.

Для нахождения коэффициентов  $a_i$  и  $b_i$  воспользуемся теорией планирования эксперимента [5,6] в интервалах изменения толщин  $r_1 \in [1,7i; 1,9i]$ ,  $r_2 \in [0,7i; 1,1i]$ ,  $r_3 \in [0,5i; 0,6i]$ .

Получены следующие значения коэффициентов  $a_0 = 0,935$ ,  $a_1 = -240,61$ ,  $a_2 = -157,064$ ,  $a_3 = -82,316$ ,  $b_0 = -16,64$ ,  $b_1 = 2488,222$ ,  $b_2 = 1244,356$ ,  $b_3 = 1494,95$ .

Таким образом, температура на внутренней стороне пакета

$$V = (0,935 - 240,61r_1 - 157,064r_2 - 82,316r_3)t + (-16,64 + 2488,222r_1 + 1244,356r_2 + 1494,95r_3). \quad (2)$$

Сравнения расчетов по формулам (1) и (2) показали адекватность линейной зависимости (2) (см. табл. 4).

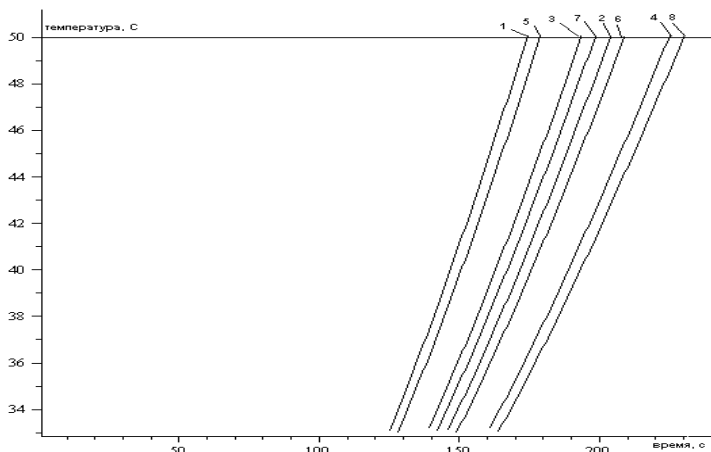


Рис. 2. Изменение температуры во времени на внутренней поверхности пакета под действием высокотемпературной среды с температурой 500С:  
 1 – пакет 1, 2 – пакет 2, 3 – пакет 3, 4 – пакет 4,  
 5 – пакет 5, 6 – пакет 6, 7 – пакет 7, 8 – пакет 8

Таблица 4

**Результаты расчетов**

№ па-кета	Пакет	Толщина образца в пакете, мм			Время достижения температуры на 50С с использованием формулы (1), с	Время достижения температуры на 50С с использованием формулы (2), с
		Нк	Ик	О1		
1	НкИкО1	1,8	1	0,55	202	201
2	НкИкО1	1,9	1	0,6	220	221
3	НкИкО1	1,7	1	0,5	184	185
4	НкИкО1	1,75	0,9	0,5	182	183

Методика аппроксимации может быть использована при оценке теплозащитных свойств термозащитных пакетов и для оптимизации времени комфортного пребывания в высокотемпературной среде при ограничениях на толщину и весе теплоизоляционного пакета.

**Литература**

1. Сарана А.Н., Засорнов А.С., Троян А.М., Мычко А.А. Способ оценки термостойкости материалов // Информационный листок Министерство образования и науки Украины УкрИНТЭИ, – Хмельницкий: ЦНТЭИ, 2002. № 10–02. – 4 с.
2. Арлинский О.Ю., Мычко А.А. Математическая модель расчета времени защиты многослойного теплозащитного средства (пакета) от влияния высокотемпературного фактора. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ, 2007. № 1. - С. 19 – 23.
3. Туголуков Е.Н. Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та., 2005. - 116 с.
4. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. М.: Легкая индустрия, 1971. - 122 с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский В.Ю. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. – 282 с.
6. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука, 1970. – 287 с.

В.И.Лагута, Ю.И.Гутько, Г.В.Хинчагов, Рюдигер Бэр

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ  
ВЫСОКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ЧУГУНОВ МАРГАНЦЕМ**

Обобщены и проанализированы физико-химические характеристики марганца, его поведение в сплавах железа, возможные принципы легирования чугунов. Табл. 2, ил. 18.

Высокоуглеродистые сплавы на основе железа продолжают оставаться наиболее распространёнными конструкционными материалами современной техники. Их производство и перспективность базируются на благоприятном комплексе литейно-технологических и механических свойств, высокоразвитой технологии получения, широких возможностях её комплексной механизации, автоматизации и компьютеризации. Во многих случаях от сплавов этой категории требуются особые рабочие свойства, которые как правило, предаются им с помощью высокого моно- или комплексного легирования. Важнейшее место среди его видов занимает аустенитостабилизирующее легирование твёрдого раствора, позволяющее или полностью предотвратить его полиморфную ГЦК→ОЦК= трансформацию при комнатной температуре или же сместить последнюю в область получения игольчатых структур распада астенита.

Среди относительно узкой группы элементов периодической системы, вызывающих эффективную стабилизацию ГЦК-кристаллической модификации железа, ведущая роль принадлежит таким элементам 3d семейства как никель и марганец. Дефицитность и дороговизна первого из них требует полной (там, где это возможно) или частичной замены никеля марганцем. Несмотря на очевидную экономическую целесообразность такой замены, как в случае сталей и чугунов, её практическая реализация для последних сопряжена с рядом серьёзных трудностей.

Общеизвестно, что железные сплавы высокого легирования марганцем [1, 2] и высокомарганцевые стали, в первую очередь аустенитного класса [1], обладают обширным комплексом разнообразных механических и эксплуатационных свойств, которые придают им значительную техническую ценность.

Однако к настоящему времени не все железные сплавы высокого легирования марганцем изучены и применяются на практике в одинаковой мере.

Наименее изученной, а соответственно наименее используемой, является группа высокоуглеродистых сплавов типа чугунов, особенно в условиях требований высокого уровня графитизации структуры [4].

Безусловно, что причины сказанного связаны как с общей сложностью процессов структурообразования высокоуглеродистых сплавов, так и в значительной мере со специфичностью природы самого марганца. Причем эта специфичность в большей степени должна проявляться в чугунах, чем в сталях.

Такие аспекты обширной проблемы легирования железных сплавов марганцем и их применения, как наличие технико-экономических предпосылок их производства в Украине, научно обоснованной оценки отличительных особенностей его физико-химической природы среди металлов d-семейств, а также выявленных закономерностей его поведения в Fe-Mn, Fe-C, Fe-Mn-C и более сложных системах легирования выглядят, на наш взгляд, к настоящему времени следующим образом.

Известно [5, 6], что марганец относится к числу весьма распространенных в земной коре элементов. По этому показателю он занимает двенадцатое место в ряду (~0,1%): O, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, H, Ti, P, Mn. Принципиально важно, что по запасам и производству марганца Украина занимает одно из ведущих мест в мире. Его запасы составляют около 2,5 млрд тонн и сосредоточены в Никопольском больше Токмакском месторождениях. Более высокими запасами (3 млрд тонн) владеет только ЮАР (Габон – 200 млн тонн, Индия – 180 млн тонн, Бразилия – 116 млн тонн). Несмотря на сказанное, этот ресурс используется в отечественной литейно-металлургической технологии явно недостаточно. Основным потребителем марганца остаётся черная металлургия, где он применяется для раскисления стали.

В мировой практике в качестве базового элемента он используется только в Mn-Cu сплавах высокого демпфирования [6], а в виде легирующей добавки в основном в сталях, в первую

очередь типа Гатфильда. Применение марганца для легирования чугунов с целью придания им комплекса особых свойств сегодня следует признать крайне ограниченным, несмотря на его высокую эффективность [4].

Используя данные [3, 5, 6, 7,8, 9] фундаментального справочного издания [10] и др., в табл.1 мы систематизировали сведения о его рудных соединениях в земной коре, а также электронном строении свободного атома, термических и физико-механических свойствах, различных кристаллических модификациях этого элемента, характеристика которых представлена в табл. 2.

Таблица 1

**Обобщенные данные о строении и свойствах марганца**

Показатель	Значение			
1.Порядковый номер по распространенности	12			
2.Содержание в земной коре, % масс.	~0,1%			
3.Рудные соединения	MnO <sub>2</sub> *xH <sub>2</sub> O,Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>			
4.Электронная формула	3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>			
5.Энергия возбуждения атома,ккал/г*ат	3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> → 3d <sup>6</sup> 4s <sup>1</sup>		3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> → 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup> 4p <sup>1</sup>	
	49-50		53	
6.Температура плавления, С	1244			
7.Температура кипения, С	2095			
8.Теплота превращений, кДж/моль	α→β	β→γ	γ→δ	
	2,24	2,29	1,80	
8.Теплота плавления, кДж/моль	14,65			
9.Теплота испарения, кДж/моль	225			
11.Плотность при 20 С, г/см <sup>3</sup>	α	β	γ	
	7,47	7,26	7,21	
12.Плотность в жидком состоянии при Тпл, г/см <sup>3</sup>	6,54			
13.Поверхностное натяжение, Н/м	1,1 ± 0,05			
14.Атомная теплоёмкость, Дж/моль*К	α-Mn при 20С	β-Mn при 20С	γ-Mn при 20С	
	26,5	35,8	27,7	
15. Атомная теплоёмкость γ-Mn при 1100-1135 С, Дж/моль*К	45,3			
16. Атомная теплоёмкость δ -Mn при 1145-1175 С, Дж/моль*К	47,6			
17.Теплоёмкость расплава, Дж/моль*К	11,05			
18.Коэффициент теплового расширения Т≈20 С, С <sup>-1</sup>	α	β	δ	
	22,3	24,9	14,75	
19. Коэффициент теплового расширения β -Mn (725 - 1095 С) γ -Mn(1095 – 1134 С) δ -Mn(1134 –1245 С)	43,0			
	54,2			
	41,6			
20.Электросопротивление при20 С, Ом*м*10 <sup>6</sup>	α	β	δ	
	1,55	0,90	0,40	
21.Отношение электросопротивлений, рж/рТВ	0,61			
22.Механические свойства γ-Mn	HV	σв, МПа	σт, МПа	δ,%
	100-200	500	245	40
23.Модуль Юнга γ-Mn, МПа	196000			
24.Твёрдость α-Mn, HV	1120			

## Характеристики кристаллических модификаций марганца

Аллотропическая модификация	Область существования	Тип решетки	Период элементарной ячейкой		Плотность упаковки, %	Атомный радиус, А
			Нм	Т, С		
$\alpha$	до 757	Сл. куб	0,8911	20	54,8	-
$\beta$	757-1079	Сл. куб	0,6313	20	67,5	-
$\gamma$	1079-1134	ГЦК	0,385	1100	74,0	1,36
$\delta$	1134-1244	ОЦК	0,307	1240	68,0	1,33

Анализ современных данных о строении и физико-химических свойствах марганца позволяет отнести его к сверханомальным химическим элементам периодической системы. Он только со значительной долей условности может быть причислен к веществам с типично металлической природой. Аномальность и своеобразие марганца среди d-металлов, приводящие в изумление его исследователей, дали основание известному металлофизику Л.Кауфману [11, с. 149] так выразиться об этом элементе «...что же касается марганца, то чем о нем будет меньше сказано, тем лучше».

Несомненно, что резко выраженные отличия строения и свойств марганца среди d-металлов в решающей мере обусловлены электронной конфигурацией его свободного атома  $3d^5 4s^2$ , особенно её изменением при электрон-электронном взаимодействии с другими атомами, в процессе образования конденсированных фаз. Для электронной конфигурации изолированного атома, обладающем максимально возможным числом некомпенсированных спинов, характерна повышенная энергетическая устойчивость. К тому же в конденсированных системах атомы марганца могут находиться в различных электронных состояниях. По мнению Л.Брюэра [9], марганец подобен урану и плутонию, в которых атомы тоже находятся в различных электронных состояниях. Исследователи марганца полагают, что именно по этой причине он обладает способностью к образованию нескольких, существенно отличных по структуре и свойствам, кристаллических модификаций (табл. 1, 2).

Как видно,  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификации являются хрупкими и образуют хрупкий излом. Для  $\alpha$ -модификации характерна также очень высокая твердость (1120 HV). По данным Григоровича [12, с. 142], она даже выше, чем у таких типичных полупроводников как Si и Ge. Это интерпретируется как признак недостаточно высокой парциальной доли металлической компоненты межатомной связи в сложных кубических решетках  $\alpha$ -Mn и  $\beta$ -Mn и одновременно наличия в ней значительной доли ковалентной связи.

По предположения [9] в решетках  $\alpha$ - и  $\beta$ -кристаллических модификаций проявляется значительный вклад в связеобразование  $d^6s^1$ - конфигураций. Наряду с ними должны встречаться также  $d^4s^2$  - и  $d^6s^1$ - конфигурации атомов. Можно допустить, что сказанное обусловлено как резко выраженной неоднородностью межатомных расстояний в решетках марганца, так и близостью энергий возбуждения электронов по схемам  $3d^5 4s^2 \rightarrow 3d^5 4s^1 p^2$  и  $3d^5 4s^2 \rightarrow 3d^6 4s^1$  (см. табл. 1). По данным [13], межатомное расстояние в сложнокубической решетке марганца может варьировать в пределах 0,2258...0,2930 Нм.

В отличие от  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификаций атомы  $\gamma$ -Mn координируются в плотную ГЦК-решетку металлического типа. Эта модификация марганца малотвердая и высокопластичная, как и ряд других металлов с таким типом решетки. Её HV= 100...200 ед., относительное удлинение достигает 40%. По другим же данным [3], ГЦК-модификация марганца выдерживает деформацию до 90% и при ударном изгибе не разрушается. Как видно из табл.1, 2,  $\beta$ -модификация по свойствам является промежуточной между  $\alpha$ -Mn и  $\gamma$ -Mn.

Специфика образования межатомных связей в кристаллах марганца предопределяет и специфику уровня его многих свойств, связанных межатомных сил. Так, на кривых величина таких свойств – координата d-элементов в периодической системе наблюдаются [14] отчетливо выраженные максимумы и минимумы, принадлежащие марганцу. Эти экстремумы являются результатом слабости межатомных сил в решетках марганца и недостаточного участия в их формировании  $3d^5$ -электронов из-за повышенной энергетической устойчивости такой конфигурации. В частности «провалы» на подобных кривых характерны для таких термодинамических свойств как температуры плавления и испарения, соответствующие им теплоты превращения, а «выбросы»

(максимумы) – для таких связезувствительных физико-механических свойств, как, например коэффициенты теплового расширения (см. табл.2), кратчайшие межатомные расстояния и др. Все эти свойства характеризуют с различных сторон прочность сил межатомного сцепления в конденсированных фазах чистого марганца.

Все четыре модификации последнего обладают различной способностью растворять в себе легирующие элементы. Наибольшей способностью к этому обладает ГЦК-решетка  $\gamma$ -марганца. В частности Cu и Ni образуют с  $\gamma$ -Mn непрерывные твердые растворы, а Fe, Co, Zn, Ge, Pd растворяются, ограничено [6].

При сплавообразовании бинарной Fe-Mn системы тоже заметно проявляется сложность физико-химического взаимодействия атомов ее компонентов, которые до сих пор не могут считаться полностью изученными. В частности, повышенная диффузионная инертность атомов марганца в твердых Fe-Mn сплавах пока не позволила построить равновесную диаграмму их состояния в важной для практики области температур ниже 400 °С.

Важнейшей легирующей особенностью этого элемента является интенсивное расширение им области существования ГЦК - железа за счет одновременного снижения точки А3 и повышения точки А4. Предположительно полное выклинивание гетерогенной области  $\alpha + \gamma$  растворов при нормальных температурах наступает при 30-35% Mn.

В бинарных сплавах, содержащих более 5% Mn,  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение может протекать без изменения концентрации Mn в указанных фазах, с образованием марганцевого мартенсита на основе пересыщенного  $\gamma$ -раствора.

Отличительной особенностью Fe - Mn сплавов является также наличие еще одного  $\gamma \rightarrow \epsilon$  мартенситоподобного превращения, очень сложной и до конца не изученной природы [1, 2].

Такой же важной их особенностью является значительный температурный гистерезис  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  превращений, свидетельствующий о высокой склонности высокомарганцевого ГЦК-твердого раствора к термическому переохлаждению.

Сложным и недостаточно изученным является взаимодействие марганца с углеродом в системе Mn-C. Его своеобразие состоит в том, что среди элементов – семейства он образует наибольшее количество карбидных фаз. Их насчитывается 6:  $Mn_{23}C_3$ ,  $Mn_{23}C_6$ ,  $Mn_{15}C_4$ ,  $Mn_5C_2$ ,  $Mn_7C_3$ ,  $Mn_3C$  [15]. При температурах выше 1000 С все они разлагаются. Анализ кривых поглощения рентгеновских лучей дал основание авторам [15] заключить, что в карбидах типа  $Mn_mC_n$  связи C-C или очень слабые или вообще отсутствуют. О слабости указанных межатомных связей могут свидетельствовать, на наш взгляд, низкие значения микротвердости карбидных фаз марганца, которая имеет ярко выраженную тенденцию к резкому снижению при движении от Ti к Mn вдоль 3d-периода [12, рис. 107]. Эти данные показывают, что по карбидообразующей способности Mn стоит ближе к железу, чем к Ti, Cr, V и др. d-элементам. Это можно объяснить тем, что по данным [15] связь в карбидах марганца в основном носит металлический характер.

Вероятно, последнее обуславливает то общеизвестное положение, в соответствии с которым в тройных Fe-Mn-C сплавах, технологических сталях и чугунах марганец не образует своих собственных карбидных фаз, а только растворяется в  $Fe_3C$ . Его предельная растворимость в  $(Fe,Mn)_3C$  составляет [16] 62%. Одновременно он существенно уменьшает термодинамическую активность углерода в аустените, которая после перехода системы в инертное  $\gamma+(Fe,Mn)_3C$  состоянии практически становится независимой от концентрации углерода. Равновесный коэффициент распределения марганца между  $(Fe,Mn)_3C$  и ГЦК-раствором составляет при 900 С 2,75 [17]. Под влиянием марганца уменьшается также термодинамическая активность углерода и  $(Fe,Mn)_3C$ . Однако нам известны данные, что последнее может привести к превращению легированного цементита в полностью термодинамически устойчивую фазу, утратившую способность к графитизации.

Безусловно, что рассмотренные закономерности поведения марганца в Fe-Mn, Mn-C, Fe-Mn-C системах легирования, а также в сталях не могут быть механически перенесены на технические чугуны, являющиеся на сегодня наиболее сложными литейными сплавами [5]. В значительной мере это обусловлено сложностью процессов их первичной кристаллизации, при которой в отличие от сталей, наряду с всегда насыщенным углеродом ГЦК-раствором, выделяются так же избыточные высокоуглеродистые фазы в виде легированного  $(Fe,Mn)_3C$  цементита или графита.

Антиграфитизирующее влияние марганца может быть признано существенно менее слабым, чем других карбидообразующих элементов d-семейства. Известно в частности [18], что безкремнистый Fe-C сплав эвтектической концентрации кристаллизуется полностью белым только

при 1,8% Mn. В то же время такой же эффект в случае хрома достигается уже при 0,4%. Иными словами, его влияние оказывается в 4,5 раза сильнее действия марганца.

Тем не менее высокое монолегирование чугунов этим элементом приводит к полному отбеливанию их структуры, резкому росту твердости, хрупкости и к практически полной потере обрабатываемости резанием. В общем случае влияние марганца аналогично росту скорости охлаждения отливок. Обсуждаемая природа марганца обусловила тот факт, что они применяются в основном для высокого монолегирования сталей. Среди высокоуглеродистых сплавов определенную известность в науке и технике имеют только монолегированные белые износостойкие чугуны [16, 18], которые непригодны для отливок машиностроительного назначения, особенно тонкостенные с высокоразвитой поверхностью.

К тому же в условиях метастабильной кристаллизации чугунов рост концентрации в них марганца может не только не способствовать увеличению полиморфной стабильности аустенита, как это всегда имеет место в сталях [3], а вызвать противоположный эффект. Он связан с переходом значительной части марганца в карбидную фазу  $(Fe,Mn)_3C$ , которая содержит его в 1,5-2 раза больше [16], чем твердый ГЦК-раствор.

Придание высокомарганцевым чугунам способности кристаллизоваться по стабильной системе может быть обеспечено только в условиях их комплексного легирования, с включением в состав легирующего комплекса эффективных графитизаторов. В отличие от классических серых чугунов их выбор не может основываться исключительно на способности к образованию аустенитно-графитной эвтектики. Не менее важное значение приобретает при этом сила влияния графитизатора на растворимость (термодинамическую активность) углерода в аустените, так как он является одним из наиболее эффективных стабилизаторов ГЦК-железа, кристаллическая решетка которого в случае чугунов всегда насыщена этим естественным генетически гомогенным элементом.

Сказанное значит, что возложенные функции основного графитизатора на кремний в чугунах с повышенной устойчивостью аустенита к полиморфной ГЦК→ОЦК трансформации при охлаждении отливок, как это предусмотрено в классических конструкционных чугунах, не может считаться оптимальным решением. Кремний, как известно, вызывает резкое снижение растворимости углерода в ГЦК-железе.

В свете сказанного значительный интерес низкремнистые композиции легирующих комплексов, которые включают в себя небольшие добавки никеля и меди, способные одновременно сочетать как функции ГЦК-стабилизаторов, так и графитизаторов. Такой же интерес представляют небольшие добавки такого сильного графитизатора, как алюминий.

При нынешнем уровне развития общей теории легирования чугунов, особенно в условиях практически полного отсутствия любой информации, включая инженерно-технологическую, относящейся к высокомарганцевым сплавам обсуждаемой природы, выявления закономерностей влияния комплексов легирующих элементов на формирование уровня полиморфной стабильности их аустенита, степени графитизируемости углерода и служебные свойства может быть осуществлено только на основе постановки обширного эксперимента. Его методическую основу могут составить современные приемы математического планирования многофакторных экспериментов.

Выводы. 1. Несмотря на благоприятные технико-экономические предпосылки использования отечественных ресурсов марганца для придания конструкционным чугунам комплекса специальных свойств, эта легирующая добавка пока не нашла широкого применения в литейно-металлургическом производстве. В значительной мере это связано с недостаточной изученностью сплавов этого класса.

2. Сверханомальность физико-химической природы марганца как легирующего элемента и связанные с ней трудности получения высокографитизированной структуры чугунов требуют постановки углубленных исследований по выявлению закономерностей его влияния на полиморфную устойчивость аустенита и графитизацию в условиях комплексного легирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Богачев И.Н., Еголаев Е.Ф. Структура и свойства железомарганцевых сплавов. - М.:Металлургия, 1973. – 295 с.
2. Богачев И.Н., Руденко А.Г. Формирование первичной и вторичной структуры высокомарганцевых сплавов при интенсивном охлаждении//Литейное пр-во. – 1973. - №2. - С. 30-32.
3. Волынова Г.В. Высокомарганцевые стали и сплавы. М.:Металлургия, 1988. – 343 с.

4. Новые аустенитные чугуны для деталей ДВС / В.И. Лагута, В.Б. Лебедев, В.И. Панченко и др. // Двигателе строение. - 1983. - №9. - С. 41-43.
5. Гуляев Б.Б. Синтез сплавов. Основные принципы. Выбор компонентов. – М.:Металлургия, 1984. – 160 с.
6. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахштадт А.Г.Металловедение высокодемпфирующих сплавов. - М.: Металлургия, 1980. - 272 с.
7. Регель А.Ф., Глазов В.М. Периодический закон и физические свойства расплавов. -М.: Наука, 1978. – 307 с.
8. Арсентьев П.П., Коледов Л.А. Металлические расплавы и их свойства. - М.: Металлургия, 1976. – 375 с.
9. Брюэр Л. О стабильности металлических структур// Устойчивость фаз в металлах и сплавах. Пер. с англ. Под ред. Д.С.Каменецкой. - М.: Мир, 1970. - С. 72-95.
10. Свойства элементов. Физические свойства: справочник / Под ред. Г.В.Самсонова.-М.: Металлургия, 1976. – С. 41-600.
11. Кауфман Л. Стабильность кристаллических решеток переходных металлов // Устойчивость фаз в металлических сплавах / Перевод с англ. Под ред. Д.С.Каменецкой.-М.:Мир, 1970. - С. 134-161.
12. Григорович В.К.Твердость и микротвердость металлов. - М.: Наука, 1976. – 230 с.
13. Салли А. Марганец. Пер. с англ. - М.:Металлургия, 1959. – 296 с.
14. Григорович В.К., Шефтель Е.Н. Дисперсионное упрочнение тугоплавких металлов. – М.: Наука,1980. – 304 с.
15. Исследование условий получения и некоторых свойств карбидов марганца / Л.Г.Домасевич, Б.Ф.Феночка, С.П.Гордиенко и др. // Карбиды и сплавы на их основе: Сборник.- К.: Наукова думка, 1976. - С. 44-49.
16. Малик И.В. Исследование влияния марганца на механизм и кинетику кристаллизации чугуна: Автореферат. Дис. канд. техн. наук. - Днепропетровск, 1980. – 143 с.
17. Алексеев В.И., Гречная И.Я., Парнис М.М. Термодинамика углерода в твердых растворах и карбидах, образующихся в некоторых легированных сталях и чугунах // Карбиды и сплавы на их основе. – К.: Наукова думка, 1976. - С. 62-70.
18. Чугун: Справочное издание / Под ред. А.Д.Шермана и А.А.Жукова. - М.: Металлургия, 1991. – 576 с.

УДК 547.2:03(477)(07)

**М.А.Касьянов, В.М.Мальоткін, О.М.Друзь, В.О.Медяник, В.І.Сало**

### **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

У статті на основі системного аналізу показано підходи до методів визначення імовірності виникнення небезпек, можливих в Україні, як засобів попередження надзвичайних ситуацій. Рис. 3, дж. 3.

**Вступ.** Проблема захисту людини від небезпек виникла з появою самого людства та його діяльності. Більшість небезпек пов'язана з прагненням людини глибше пізнати себе і навколишній світ, створити матеріальні блага для задоволення фізіологічних і духовних потреб.

Мірою можливої небезпеки є частота, з якою вона може проявлятися. Ризик – цей термін також можна сформулювати як небезпечний стан, при якому виконується діяльність в умовах невизначеності. Для наукового вирішення завдань, пов'язаних із такими умовами, використовують методи системного аналізу.

Системний аналіз – це сукупність методологічних засобів, які можна використовувати у визначеній послідовності для підготовки і обґрунтування шляхів вирішення проблем, пов'язаних з безпекою. Наразі існує багато визначень терміна "система". Найбільш повне визначення систем аналізу дано авторами роботи [2], що розглядають "систему" як сукупність взаємозалежних елементів, взаємодіючих між собою таким чином, що досягається визначений результат. Система "Людина – Машина – Середовище" (ЛМС) є типовою ергономічною системою.

Метою системного аналізу безпеки систем ЛМС є виявлення факторів і причин, що впливають на появу різних небезпек, розробка попереджувальних заходів, що зменшують імовірність

їхньої появи. У роботах [1, 2] рекомендується така послідовність вивчення небезпек: попередній аналіз небезпеки, що включає: виявлення їхніх джерел, визначення елементів системи, що можуть викликати дані небезпеки; визначення послідовності прояву небезпечних ситуацій (побудова дерева подій і небезпек); аналіз наслідків НС.

У БЖД об'єктом аналізу небезпек є система ЛМС. У системі, призначеній для виконання визначених функцій, об'єднано технічні об'єкти, люди і навколишнє середовище, що постійно взаємодіють один з одним. Взаємодія поза зазначеними елементами такої системи може бути штатною і позаштатною. Позаштатну взаємодію об'єктів, що входять у систему ЛМС, прийнято називати надзвичайною подією (НП) [1]. Системний аналіз небезпек робить передбачуваними такі НП, а отже - забезпечує їхнє запобігання відповідними мірами, а також дозволяє описати небезпеки якісно і кількісно, що закінчується плануванням попереджувальних заходів. Термін "небезпека" має кілька тлумачень [1, 2]. При використанні аналізу небезпек доцільно користуватися такими формулюваннями:

- небезпека – можливість нещастя і тих НП, що до нього ведуть;
- джерело небезпеки – явище, від якого може походити небезпека;
- фактор, що ушкоджує – явище, що заподіює ушкодження.

Катастрофи, аварії звичайно утворюють НП – нещастя. Тому при аналізі небезпек звичайно мають справу з потенційними НП, що є джерелом небезпеки. Розподіл на джерело, потенційну НП і їхній вражаючий фактор забезпечує застосування в системному аналізі безпеки дерева причин і небезпек, використання логічних моделей для якісного аналізу, статистичний аналіз та ймовірнісні моделі, що є складовими кількісного аналізу небезпек. Безпека життєдіяльності створена на стику природних, гуманітарних і технічних наук, використовує їхні методи і розроблює свої. У природі та суспільстві всі явища взаємопов'язані та взаємозумовлені. Саме тому для пояснення будь-якого явища (у тому числі небезпечного) необхідно передусім розкрити причини, що його породжують.

**Постановка завдання.** Одним з основних завдань безпеки життєдіяльності людини є пошук і реалізація надійних способів захисту людини, а також засобів, необхідних і достатніх для реалізації умов її виживання в надзвичайних ситуаціях (НС), їх вирішення доцільно розглядати з позицій системного аналізу.

**Матеріали та результати досліджень.** Якісні методи аналізу небезпек обов'язково мають включати попередній аналіз небезпек у визначеному порядку і аналіз небезпек за допомогою дерева причин, докладно описаних у [1, 2]. Попередній аналіз небезпек (ПАН) рекомендується здійснювати в такому порядку:

- вивчення технічних характеристик РНО, ХНО та інших небезпечних об'єктів, виявлення їхніх вражаючих факторів (радіаційних, хімічних, термічних, механічних і біологічних), визначення їхніх кількісних значень;
- установлення законів, стандартів, правил, дія яких поширюється на небезпечний об'єкт;
- перевірка технічної документації на її відповідність законам, ДСТ і нормам стандартів безпеки;
- складання переліку небезпек, у якому вказуються ідентифіковані джерела небезпек (системи, підсистеми, елементи), уражаючі фактори, потенційні НП, виявлені недоліки.

При проведенні ПАН особлива увага приділяється наявності вибухопожежонебезпечних і токсичних речовин, виявленню компонентів небезпечного об'єкта, у яких можливою є їхня присутність. Процедура попереднього аналізу небезпек може містити в собі кілька алгоритмів. Одним з найбільш ефективних якісних методів ідентифікації небезпек, заснованому на системному підході та такому, що має характер прогнозу, є метод аналізу наслідків відмовлень, який дозволяє оцінити небезпечний потенціал технічного об'єкта, оскільки досліджується система, яка може бути розділена на елементи. Тому для кожного такого елемента можуть бути виявлені можливі відмовлення, вивчені потенційні НП, що можуть викликати те чи інше відмовлення на технічному об'єкті, який досліджується.

У результаті аналізу відмовлень можуть бути зібрані і документально оформлені дані про частоту відмовлень, необхідних для кількісної оцінки рівня небезпек технічного об'єкта, що розглядається. Аналіз небезпек за допомогою дерева причин спочатку передбачає побудову логічного "дерева причин і небезпек". Будь-яка небезпека реалізується, завдаючи збиток через конкретні причини, без яких не існує реальних небезпек. Запобігання останнім чи захист від них базується на обов'язковому виявленні причин.

Між небезпеками, що проявилися, і причинами існує причинно-наслідковий зв'язок: небезпека є наслідком причини, що, у свою чергу, є наслідком інших причин і т.д. Графічне зображення таких залежностей нагадує дерево. Як приклад, на рис. 1 показано логічне дерево небезпек радіації, що описано в роботі [2]. Створення таких "дерев" є винятково ефективним також при виявленні таких техногенних небезпек, як аварії, пожежі, дорожньо-транспортні події, найбільш типові для України. Кількісний аналіз небезпек звичайно виконують з використанням різних імовірнісних моделей, розбиваючи складні небезпечні системи на підсистеми. Застосовуючи правила теорії ймовірностей, знаходять імовірність потенційних НП у вигляді функції небезпеки.

$$P=f_p(P_1, P_2, \dots, P_n). \quad (1)$$

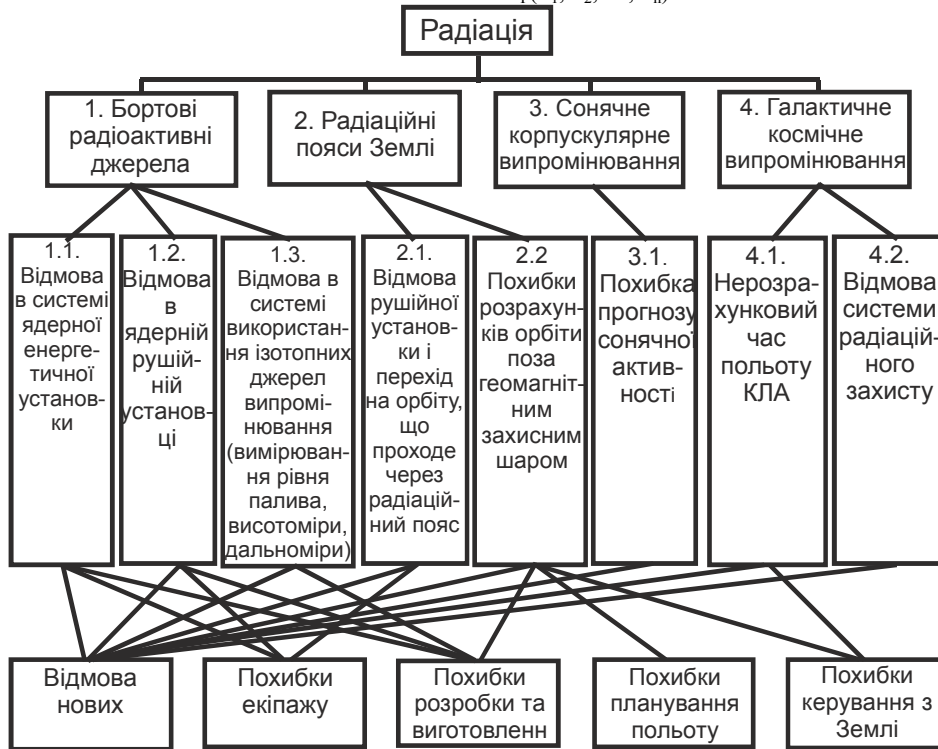


Рис. 1. Логічне дерево небезпек радіації

Оцінка небезпеки стає повною лише в тому випадку, коли виявлено в повному обсязі наслідки потенційної НП. Тому аналіз НП (АНП) звичайно включає:

- опис потенційних НП;
- оцінку їхніх ймовірностей;
- кількісну оцінку можливих наслідків (викидів небезпечних хімічних (НХР) і радіаційних речовин (РР), що володіють вражаючими властивостями (токсичністю, вибуховістю, радіоактивністю);
- розрахунок розсіювання викидів;
- оцінку вторинних вражаючих факторів;
- сумарну оцінку збитку на досліджуваному об'єкті.

Великий клас завдань пов'язаний з викидом у навколишнє середовище радіоактивних і хімічних небезпечних речовин. Для оцінки наслідків таких аварій пропонується розраховувати поле концентрацій з використанням теоретико-імовірнісних моделей. Наприклад, для оцінки наслідків викиду стаціонарних джерел безупинної дії можна використовувати таку імовірнісну модель:

$$C(x) = \frac{S^P}{2\pi \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \cdot U} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{X_2 - \bar{X}_2}{\sigma_2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left( \frac{X_3 - \bar{X}_3}{\sigma_3} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де С – середнє значення концентрації небезпеки в точці Х в момент часу t; S – продуктивність стаціонарного джерела небезпеки в точці Х (одиниць домішок на одиницю об'єму за одиницю часу);

$\sigma_2, \sigma_3$  – характеристики горизонтального і вертикального руху струменя викиду (рис. 2), що звичайно задаються у виді таблиці чи графіків (рис. 3).

Результати аналізу потенційних НП зображують у виді таблиць з метою планування подальших попереджувальних заходів на досліджуваному об'єкті, а також для конструювання моделей впливу. Під моделлю впливу розуміється залежність, що визначає поля вражаючих факторів при прогнозуванні наслідків НС.

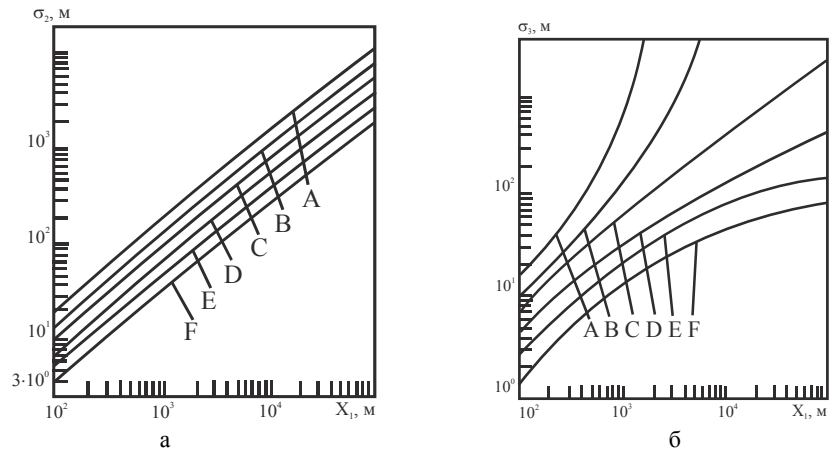


Рис. 2. Стандартні відхилення в залежності від відстані до джерела і категорії стійкості погоди: а – для поперечного і горизонтального; б – для вертикального розподілення концентрацій

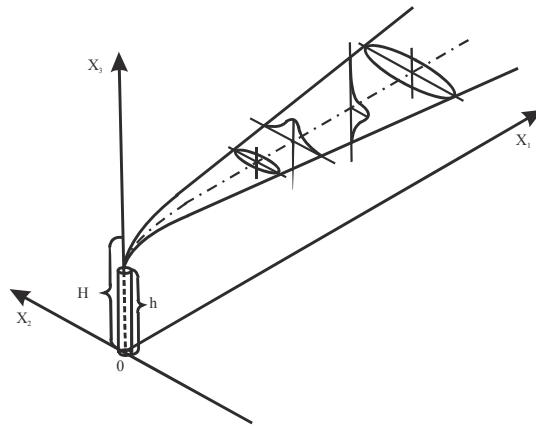


Рис. 3. Обрана система координат

**Висновки.** На підставі завчасно виконаних розрахунків може бути визначена інтенсивність впливу багатьох небезпек техногенного і природного характеру, що мають місце в Україні.

#### Література

1. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 447 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. / Л.А. Михайлов, В.П. Соломин, Т.А. Беспаятных и др.; Под общ. ред. Л.А. Михайлова. – М.: Питер, 2008. – 460 с.

Г.Г.Басов, А.В.Можейко

### ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ 20Л И 25Л ЛИТЫХ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье представлены результаты сравнительного анализа химического состава и механических свойств литых колесных центров, изготавливаемых в ОАО «ХК «Лугансктепловоз» в 1991 и в 2007гг. Табл. 3, ил. 10.

Железнодорожный транспорт занимает ведущее место в транспортной системе Украины. На его долю приходится более 80 % перевозок грузов общего транспортного комплекса и 50,5 млрд. пас. км перевозок пассажиров [1].

Надежность тепловоза является комплексным свойством, включающим безотказность, долговечность и ремонтпригодность, и в целом зависит от качества и надежности его составных частей [2]. Одним из ответственных узлов ходовой экипажной части, от состояния которой зависит безопасность движения поездов, является колесная пара [3]. Ходовые колеса – один из основных элементов колесной пары [4].

Учитывая сложные условия работы и повышение надежности в эксплуатации, поверхность катания колеса должна обладать высокой прочностью, ударной вязкостью и износостойкостью, а металл диска и ступицы, удерживающейся на оси силами упругости, - необходимой вязкостью. Этим требованиям удовлетворяют составные колеса, в которых бандаж можно изготавливать из стали повышенной прочности и твердости, а колесный центр – из более вязкой и дешевой стали. Кроме того, при достижении предельного износа или появлении другого повреждения в эксплуатации бандаж можно заменить без смены колесного центра [5].

Повышенный износ круга катания тепловозных колес предопределил преимущественное применение в тепловозостроении составных колес, включающих бандаж и колесный центр [6]. В настоящее время при изготовлении тепловозов применяются литые [7] и катаные [8] колесные центры.

Целью данной работы является определение изменения химического состава и механических свойств сталей 20Л и 25Л литых колесных центров в 2007 году по сравнению с 1991 годом.

Поставленная цель достигалась путем анализа сравнения результатов определения химического состава и механических испытаний изготавливаемых литых колесных центров в 1991 и 2007гг.

Центры колесные литые для подвижного состава железных дорог изготавливаются по ГОСТ 977-87 [9], их следует отливать из стали марки 20Л и 25Л по ГОСТ 4491-86 [7].

В [10] приведены химический состав и механические свойства литой колесной стали на «Лугансктепловоз». С момента выхода статьи (1991г.) при производстве литых колесных центров на предприятии внедрялись мероприятия по улучшению механических свойств.

Была поставлена задача провести сравнение химического состава и механических свойств колесных центров, выпускаемых в настоящее время с данными [10]. Для этого была взята партия центров в количестве 100 штук, изготовленных на «Лугансктепловоз» в 2007году. Сравнение химического состава и механических свойств представлены в табл. 1 и 2.

В исследуемых колесных центрах среднее содержание: хрома - 0,11 %, никеля - 0,25 % и меди - 0,2 %. В [10] не представлены сведения о содержании хрома, никеля и меди, поэтому их содержание в 2007г. в сравнительную табл. 3 не вносились.

Т а б л и ц а 1

#### Сравнение химического состава литых колесных центров по основным компонентам

Год	Химический состав, %				
	Углерод С	Марганец Mn	Кремний Si	Фосфор P	Сера S
1991	0,17-0,30	0,35-0,89	0,20-0,48	0,006-0,040	0,012-0,046
2007	0,17-0,30	0,45-1,08	0,23-0,66	0,025-0,043	0,021-0,045

Сравнение механических свойств литых колесных центров

Год	Механические свойства				Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при +20 <sup>0</sup> С и при -60 <sup>0</sup> С
	$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$	
	МПа		%		
1991	250-375	450-625	22-38	26-65	<u>38,2-173,5</u> 2,9-65,7
2007	250-387	461-622	20-29	31-51	<u>49,0-84,3</u> 9,8-52,9

Таблица 3

Сравнение разброса ( $\Delta$ ) механических свойств литых колесных центров

Год	Механические свойства				Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при +20 <sup>0</sup> С и при -60 <sup>0</sup> С
	$\Delta, \sigma_T$	$\Delta, \sigma_B$	$\Delta, \delta$	$\Delta, \psi$	
	МПа		%		
1991	125	175	16	39	<u>135,3</u> 62,8
2007	137	162	9	28	<u>35,3</u> 43,1

Анализ результатов показывает, что по сравнению с 1991 годом, в 2007 году содержание углерода по нижнему и верхнему пределам не изменилось, нижний и верхний пределы содержания марганца увеличились на 28,6 % и 21 % соответственно, содержание кремния по нижнему пределу увеличилось на 15 %, по верхнему - на 37 %. Нижний предел значений ударной вязкости при +20 и -60 °С увеличился на 28 % и 238 % соответственно. При этом сократился разброс значений ударной вязкости при +20 °С на 238 %, при -60 °С на 31%. Значения  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta$ ,  $\psi$  изменились на 0,5 – 23,5 %. Снижение разброса значений  $\sigma_B$ ,  $\delta$ ,  $\psi$  и ударной вязкости указывает на большую стабильность технологического процесса изготовления отливок колесных центров в 2007 году по сравнению с 1991 годом (табл. 3).

Выводы. Сравнительный анализ химического состава и механических свойств сталей 20Л и 25Л колесных центров за 1991 и 2007гг показал увеличение содержания легирующих элементов марганца и кремния в стали отливок колесных центров, повышение минимального значения ударной вязкости при +20 и -60 °С на 28 % и 238 % соответственно.

#### Литература

1. Тартаковский Е.Д. Пріоритетні напрямки досліджень у галузі тягового рухомого складу (ТРС). // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 5 – 12.
2. Вознюк В.Н., Пушкарев И.Ф., Ставров Т.В. и др. Надежность тепловозов. – М: Транспорт, 1991. – 159 с.
3. Филонов С.П., Гибалов А.И., Микитин и др. Тепловоз 2ТЭ116. – М: Транспорт, 1996. – 334 с.
4. ГОСТ 11018-2000 Тяговый подвижной состав железных дорог колеи 1520 мм. Колесные пары. Общие технические условия.
5. Лукин В.В., Шадур Л.А., Котуранов В.Н., Хохлов А.А., Анисимов П.С. Конструирование и расчет вагонов. – М: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
6. Конструирование и динамика тепловозов / Под. ред. В.Н.Иванова. – 2-е изд., доп. – М: Транспорт, 1974. – 336 с.
7. ГОСТ 4491-86 Центры колесные литые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия.
8. ТУ У 14-4-497-2001 Центры колесные катаные для тепловозов. Технические условия.

9. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия.

10. Никольская Э.Н., Котельникова Г.П., Баранов В.П. Исследование статистической зависимости механических свойств колесной стали от химического состава / ВНИТИ труды института. Прочность и динамика узлов тепловозов и путевых машин. – Коломна: ВНИТИ, 1991. – Вып. 73. – С. 87 – 94.

УДК 621.001.57:004.652.5

**В.В.Дорошко, Ю.П.Коробецкий**

### **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

У роботі досліджуються принципи, методи та інструменти ООП, визначено особливості використання ООП для побудови ієрархічних моделей машинобудівних підприємств. Описано схему формування ієрархічних рівнів підприємства. Табл. 1, дж. 9.

**Вступ.** Багатогалузевий машинобудівний комплекс - потужний сектор промисловості України. За роки трансформації економіки машинобудівний комплекс країни зазнав тривалої руйнівної кризи, реформування відносин власності, структурних деформацій і вийшов на шлях адаптації до умов ринкової кон'юнктури та освоєння нових промислових ринків. Актуальною для галузі є проблема відновлення виробничого потенціалу на основі використання інноваційних технологій і реалізації вітчизняних наукових розробок [1].

Одним з видів інноваційних технологій є інформаційні технології, що використовуються у машинобудуванні для оптимізації виробництва. Оптимізація виробництва може проявлятися у покращенні одиничних операцій, реорганізації послідовності операцій, що здійснюються над видами, або у знаходженні більш ефективної структури підприємства та його елементів.

Проблеми, що виникають при створенні складних сучасних програмних комплексів, призвели до появи таких інструментів їхнього вирішення, як об'єктно-орієнтоване програмування та проектування (ООП), графічна мова UML тощо. Тому треба зазначити необхідність використання цих інструментів при вирішенні проблем автоматизації програмування складних систем у машинобудуванні.

У [2] розглянуто побудову імітаційної моделі гнучких виробничих систем із використанням апарату мереж Петрі. Недоліком цієї моделі є вузькість її застосування. Такий підхід може застосовуватися для побудови імітаційних моделей, але для інформаційних його недостатньо. У роботі [3] зроблено спробу подати в моделі ієрархію підприємства, однак фактично модель є однорівневою, оскільки підприємство складається з цехів, а цехи тут є найпростішими елементами, і кожен з них як окрема система не розглядається. Наведена у роботі [4] система передбачає створення лише імітаційної моделі, без побудови інформаційної моделі, що, на нашу думку, не відповідає сучасним вимогам.

Цілями цього дослідження є:

- дослідження принципів, методів та інструментів ООП;
- визначення особливостей використання ООП для побудови моделей машинобудівних підприємств.

**Основний матеріал.** Проблеми проектування полягають у тому, щоб:

- якомога детальніше та точніше уявити майбутню систему;
- щоб це уявлення було цілісним і не суперечило б самому собі;
- щоб уявлення різних розробників відповідали одне одному.

Проектування містить у собі аналіз та синтез, що йдуть одночасно. Дослідник аналізує початкову систему, отримані у результаті цього аналізу дані синтезують собою нову систему (ту, що моделюється). Таким чином, ці дані не абсолютно описують початкову систему, а лише з тих позицій, які важливі під час моделювання.

Мета моделі – створити виразну абстракцію реального світу. Така модель є простішою від реального світу, але вона мусить точно віддзеркалювати реальний світ, щоб можна було передбачити поведінку його речей.

Головна мета проектування – це простота, але питання у тому, за яким критерієм вона визначається. Глибинний сенс у тому, щоб спроектована система залишалася настільки простою, наскільки це можливо під час змін, що відбуваються. Проектувальники мають проектувати систему згідно зі змінами та прагнути до:

- гнучкості;
- розширюваності;
- портативності [5].

Уніфікована мова моделювання (UML, Unified Modeling Language) є спадкоємицею методів об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування, що виникли у кінці 80-х – на початку 90-х років. Мова моделювання – це нотація (головним чином, графічна), котру використовують методи для опису проєктів [6].

Мова UML призначена для опису моделей, причому для роботи з цією мовою використовуються спеціальні редактори діаграм, такі як Rational Rose.

UML не залежить від об'єктно-орієнтованих мов програмування і може підтримувати кожну з них. Ця мова також не залежить від використовуваної методології розробки проєкту, і створені на UML діаграми виразні і зрозумілі для всіх розроблювачів.

UML є відкритим і має засоби розширення базового ядра. На UML можна змістовно описувати класи, об'єкти і компоненти в різних предметних галузях, що часто дуже відрізняються одна від одної.

Моделі будуються для того, щоб краще розуміти систему, що розроблюється. І моделювання в UML дозволяє вирішити чотири таких завдання:

- візуалізувати систему в її поточному або бажаному для дослідника стані;
- визначити структуру або поведінку системи;
- отримати шаблон, що дозволяє потім конструювати систему;
- документувати рішення, які приймаються, використовуючи отримані моделі.

На жаль, сприйняття людиною складних сутностей обмежене. Моделюючи, ми звужуємо проблему, зосереджуючи увагу в один момент лише на одному аспекті.

Основними принципами моделювання є:

1. Вибір моделі має визначальний вплив на підхід до вирішення проблеми і на те, як виглядатиме це вирішення.
2. Кожна модель може бути втіленою із різним ступенем абстракції.
3. Найкращі моделі ті, що ближчі до реальності.
4. Не можна обмежуватися створенням тільки однієї моделі. Краще за все використовувати декілька моделей, майже незалежних одна від одної.

Найбільш сучасним підходом до розробки програмного забезпечення є об'єктно-орієнтований. Тут основними будівельними блоками є об'єкт та клас. Візуалізація, специфікування, конструювання та документування об'єктно-орієнтованих систем – призначення мови UML.

З точки зору візуалізації, мова UML є графічною, тобто більш наочною, ніж текст програм, написаний мовою, що має стандарти, єдині для всіх учасників створення системи. Ця мова дозволяє специфікувати усі існуючі рішення, що стосується аналізу, проектування та реалізації, тобто будувати недвозначні та повні моделі. UML не є мовою візуального програмування, але моделі, створені за її допомогою, можуть бути безпосередньо перекладені на різні мови програмування, тобто можлива генерація коду з моделі UML. Вона також дозволяє вирішувати проблему документування системної архітектури та всіх її деталей, надає мову для формування вимог до системи та визначення тестів та ще й надає засоби для моделювання робіт на етапі планування проєкту та управління версіями.

Будівельними блоками мови є сутності, відносини та діаграми. Сутності – це абстракції, що є основними елементами моделі. Відношення пов'язують різні сутності, а діаграми групують сукупності сутностей.

Сутності в UML бувають чотирьох типів: структурні, поведінкові, групувальні та анотаційні. Структурні сутності, як правило, є статичними частинами моделі, що відповідають концептуальним та фізичним елементам системи. До них належать класи, інтерфейси, кооперації, прецеденти, активні класи, компоненти, вузли. Поведінкові сутності є динамічними складовими моделі. До них належать взаємодії та автомати. Групуючі сутності є організуючими частинами моделі UML. Такими сутностями є пакети. Анотаційні сутності – пояснювальні частини моделі. Це коментарі для додаткового опису, пояснення або зауваження до будь-якого з елементів моделі.

Основою автоматизованої системи організаційно-технологічної підготовки виробництва (АСОТПВ) є взаємодія виробничого персоналу, технічних засобів, програмного забезпечення.

АСОТПВ охоплює декілька завдань на різних стадіях розробки, виготовлення та експлуатації різноманітних машин, пристроїв, комплексів:

- упорядкування номенклатури деталей, розробка більш прогресивного класифікатора деталей, розробка методів цільового ранжування деталей, використання методів, що дозволяють на різних стадіях створення техніки враховувати особливості широкої номенклатури деталей;
- розробка методів формування типових компоновальних рішень модулів технологічних операцій, типажів, стандартів, параметричних рядів на галузевому рівні;
- розробка методів пошуку оптимального співвідношення між рівнями проектно-конструкторських робіт та технологічною реалізацією на ранніх стадіях створення техніки;
- забезпечення взаємозв'язку між організаційно-технологічною та технологічною підготовкою виробництва;
- раціоналізація та оптимізація пошуку типів структур та окремих структур виробничих підрозділів, оптимізація просторового розташування устаткування, формування компоновальних рішень виробничих підрозділів;
- розробка математичних методів та програмного забезпечення календарного планування на різних рівнях виробничої ієрархії, в тому числі місячне та змінно-добове планування робіт;
- розробка моделей функціонування виробничих підрозділів, підприємств у цілому, що забезпечують можливості прогнозування техніко-економічних показників на різних стадіях проектування та експлуатації, раціоналізація вирішення питань формування планових та позапланових завдань, використання основного та допоміжного обладнання, вдосконалення технологічних процесів обробки деталей та складання вузлів, виробів, підвищення ефективності оперативного управління, прийняття рішень у різних виробничих ситуаціях тощо [7].

Систематичні комплекси можна класифікувати за багатьма ознаками: за характером структури та функцій, призначенням, принципом існування, характером розвитку тощо. Системний підхід включає принцип ієрархічності пізнання, що вимагає багаторівневого вивчення предмету. Основні проблеми системного підходу пов'язані з виявленням таких категорій: законів поєднання частин у ціле; законів, що визначають характер структури, функціонування, рух та розвиток; зв'язків із умовами та середовищем існування; межових характеристик системи.

Складну систему важко зобразити детально, але притому суцільно. Тому постає проблема компромісу. Один із шляхів її розв'язання – рівневий та міжрівневий опис системи. Міжрівневе вивчення системи містить спостереження тільки за загальною поведінкою системи як цілого, з оцінкою її інтегральних характеристик та ігноруванням деталей в структурі системи. Рівневе вивчення системи пов'язане з детальним описом кожного її компоненту, усього комплексу внутрішніх процесів.

Кожний рівень системи, як і вся система в цілому, реалізує конкретні цілі. Кожна ціль досягається завдяки реалізації певних функцій, якими наділені рівні та системи. Функціональний опис відбувається за ієрархічною схемою, тобто він має віддзеркалювати ієрархію функцій.

Кількість рівнів, обраних для спостереження, залежить від цілі, яку поставлено перед спостерігачем.

Розробка ієрархії системи – складне завдання, що залежить від багатьох факторів. Важливим питанням є вибір кількості ступенів ієрархії системи. Перехід від одного ступеня до іншого під час проектування системи має здійснюватися з виникненням якісних змін, котрі викликають появу функціональних особливостей, обумовлених вимогами якостей системи. Взаємозв'язки на кожному з ступенів мають описуватися однотипно, щоб зберегти модульний принцип побудови математичної моделі. Під час розробки систем необхідно враховувати не тільки якість функціонування системи, але й складність її реалізації. Оскільки кількість ступенів – визначальний фактор ускладнення розв'язання задачі, цю кількість необхідно обирати мінімальною, але такою, яка забезпечить задану точність розв'язання.

Якщо зобразити систему як сукупність блоків, що виконують функціональне перетворення та зв'язки між ними, то отримаємо схему, котра в узагальненому виді описує структуру системи. Під блоком, звичайно, розуміють функціонально завершений пристрій, оформлений як окреме ціле.

Структурні та функціональні властивості тісно пов'язані між собою. Для загальної структури системи можна визначити цілі, функції, елементи структури, параметри взаємозв'язку. Пара-

метричний рівень дає кількісну оцінку зв'язків. На функціонально-структурному рівні, як правило, визначаються якісні характеристики, структурні особливості системи.

Вибір того чи іншого ступеня ієрархії на виробничому підприємстві визначається наявністю відповідних якісних ознак. У роботі [8] пропонується набір ознак для характеристики ступенів ієрархії. В табл. 1 представлено взаємозв'язок ознак та ступенів ієрархії машинобудівного підприємства.

Таблиця 1

**Взаємозв'язок рівнів ієрархії з ознаками**

Ієрархічний рівень	Вузли пристроїв	Пристрої	Дільниці	Цехи	Підприємство
Ознака ступеня ієрархії	Параметричний	Операційний	За типами структур	За способом виробництва	Функціональний

На рівні вузлів пристроїв як ознаки можуть бути обрані параметри вузлів: швидкість обертання, габарити, зусилля, потужність тощо.

Для оцінки характеристик пристроїв, що застосовуються на дільниці, можна використовувати операційний рівень, тобто рівень операцій, що реалізуються на пристроях під час обробки даної номенклатури деталей. Наприклад, токарні, фрезерні та ін. операції, операції транспортування, орієнтації, затиснення деталей та ін.

При розгляді властивостей ділянок, котрі входять до складу цехів, можна використовувати їхні структурні особливості, тобто особливості, що відповідають певному типу структур, складу устаткування та зв'язків між елементами. У [8] визначено чотири типи структур: з позиціями, що працюють незалежно, лінійні, мережні та просторові типи.

При розгляді властивостей цехів, котрі є підсистемами підприємства, як характеристики системи можна використовувати способи виготовлення деталей (механічний, ковальський, ливарний та ін. способи обробки).

Для оцінки характеристик підприємств у цілому пропонується використовувати функціональні особливості, функції виготовлення виробів галузевої приналежності (автомобільний, повітряний, водний транспорт, сільськогосподарські машини тощо).

Таким чином, у даній послідовності можна виділити схему формування ієрархічних рівнів підприємства за відповідними ознаками: вузли пристроїв – за параметричними ознаками, пристрої ділянок – за операційними ознаками, ділянки цехів – за структурними ознаками, цехи – за ознаками виробництва та підприємства – за функціональними ознаками (див. табл. 1) [9].

**Висновки.** Було визначено основні принципи побудови моделей згідно з методологією ООП, застосуванням мови UML та інших подібних засобів. Розглянуто особливості дослідження машинобудівних виробництв та побудови їхніх моделей. Описано схему формування ієрархічних рівнів підприємства.

Наступним кроком досліджень має стати побудова інформаційної моделі машинобудівного підприємства на засадах, визначених у цій роботі.

#### Література

1. Машинобудування в Україні: тенденції, проблеми, перспективи. / Н.В.Тарасова, І.С.Калініченко, А.В. Романенко та ін.; Під заг. ред. чл.-кор. НАН України Б.М.Данилишина. - Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2007. - 308 с.
2. ИММОД-2003: Материалы Всеросс. науч. конф. в г. Санкт-Петербурге, 23-24 октября 2003 года / УГАТУ; Загидуллин Р. Р. – СПб, 2003.
3. ИММОД-2003: Материалы Всеросс. науч. конф. в г. Санкт-Петербурге, 23-24 октября 2003 года / ОрелГПУ; Лазарев. – СПб, 2003.
4. Карташов Леонид Евгениевич. Моделирование гибких производственных систем с временным резервированием: Автореф. дис... канд. техн. наук (05.13.20) / Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политех. ін-т". - К., 2005. – 20 с.
5. The C++ programming Language. Bjarne Stroustrup. / Addison Wesley Longman, Inc. – 1997.
6. Фаулер М. - UML. Основы. Краткое руководство по унифицированному языку моделирования. – М.: Символ-Плюс, 2002. – 192 с.
7. Коробецкий Ю.П. Автоматизация организационно-технической подготовки многономенклатурного производства: Дис...докт. техн. наук (05.02.08) / Луганск. машиностр. ин-т, Луганск, 1993. – 356 с.
8. Коробецкий Ю.П., Рамазанов С.К. Імітаційні моделі у гнучкому виробництві. Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. – 280 с.

УДК 621.01

Д.П. Дрягин

### СТРУКТУРНОЕ КАЧЕСТВО НЕОДНОРОДНЫХ ОДНОСЕМЕЙСТВЕННЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Структурное качество кинематических цепей, иначе – их самоустанавливаемость, теоретически оценивается с помощью коэффициента структурного качества. Все виды кинематических цепей, в том числе и неоднородные односемейственные, рассматриваемые в данной статье, могут быть оценены с помощью этого коэффициента. В результате устанавливается взаимосвязь между структурным качеством и точностью изготовления и сборки замкнутых контуров кинематических цепей. Рис. 1, ист. 4.

Неоднородность односемейственных кинематических цепей определяется наличием в их составе автодиконтуров<sup>1</sup>, которые не препятствуют реализации кинематической функциональности, но без принятия дополнительных мер значительно увеличивают степень статической неопределимости. При этом резко понижается структурное качество таких цепей и, как следствие, становится невозможной их самоустанавливаемость<sup>2</sup>.

Возможность сохранения кинематической функциональности при удалении "пассивного звена" рассмотрена в [1], т.е. неоднородная цепь приведена к однородной. В то же время в технике нередко встречаются механизмы, содержащие по одному и более автодиконтуров, цепи таких механизмов явно неоднородны и к ним предъявляются повышенные требования к точности изготовления, сборки и сохранения этой точности в условиях эксплуатации под нагрузкой.

#### 1. Анализ неоднородной цепи третьего семейства

Существенно неоднородная неконсервативная плоская кинематическая цепь, содержащая диаду ABC и множество  $n_a$  автодиконтуров, изображена на рис.1.

Символом  $S_o = 3$  на рис. 1 обозначена общая связность рассматриваемой плоской цепи.

Избыточная связность такой цепи равна [2]

$$q = 3N_d + 4n_{\text{Павт}} = 3 + 4n_a, \quad (1)$$

где  $N_d$  - множество диад, а  $n_{\text{Павт}} = n_a$  - множество автодиконтуров.

Множество кинематических пар цепи определится так:

$$p_{\Sigma} = p_1 = 3 + 2n_a. \quad (2)$$

В уравнении (2) символом  $p_1$  обозначено множество одноподвижных вращательных и поступательных кинематических пар.

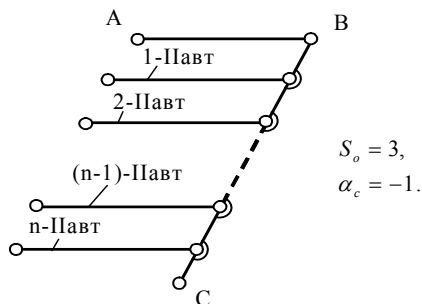


Рис. 1. Диада ABC и множество  $n_a$  автодиконтуров

<sup>1</sup> Автодиконтуры-внегрупповые контуры-звенья второго класса, содержащие по две кинематические пары. В известной литературе по ТММ их также называют «пассивные звенья».

<sup>2</sup> Понятие «самоустанавливаемость кинематических цепей» ввел Л.Н.Решетов.

Введем понятие о коэффициенте структурного качества кинематической цепи:

$$\alpha_c = \left( 1 - \frac{q}{p_\Sigma} \right), \quad (3)$$

где  $\alpha_c$  – коэффициент структурного качества (самоустанавливаемости) цепи;  $q$  – избыточная связность цепи;

Подставим выражения (1) и (2) в (3) и найдём значение  $\alpha_c$  при  $n_a \rightarrow \infty$ :

$$\alpha_c = \left( 1 - \frac{q}{p_\Sigma} \right) = \left( 1 - \frac{3 + 4n_a}{3 + 2n_a} \right) = \lim_{n_a \rightarrow \infty} \left( 1 - \frac{\frac{3}{4n_a} + 1}{\frac{3}{4n_a} + \frac{1}{2}} \right) = -1. \quad (4)$$

Полученное решение (4) и известное значение  $\alpha_c = 0$  для диады [2] позволяют окончательно заключить, что значение коэффициента самоустанавливаемости  $\alpha_{c-\partial}$  для диадных цепей произвольной структуры может изменяться в пределах  $-1 \leq \alpha_{c-\partial} \leq 0$ .

Диадные однородные ( $\alpha_{c-\partial} = 0$ ) и в особенности диадные неоднородные цепи ( $-1 \leq \alpha_{c-\partial} < 0$ ) следует охарактеризовать как имеющие низкое значение коэффициента структурного качества, требующие повышенных затрат на изготовление и сборку. Устранение вредных избыточных связей в однородных диадных цепях целесообразно выполнять методом модификации кинематических пар. В неоднородных цепях, при наличии автодиконтуров, – путём введения в цепь дополнительных автомоноконтуров [2]<sup>3</sup>.

Повышение значения  $\alpha_c$  до +1 указанными в работе [2] приёмами, т.е. модификацией кинематических пар и добавлением автомоноконтуров, следует считать предпочтительным, если приходится иметь дело с крупными механизмами и машинами, применяемыми в металлургии, сельскохозяйственных производствах, горнорудной, нефтехимической и некоторых других отраслях, т.е. там, где легче и экономически выгодней добиться повышения надёжности, работоспособности и долговечности путём достижения самоустанавливаемости, нежели за счёт высокой точности и жёсткости, которые в целом для крупных машин практически недостижимы.

## 2 Анализ неоднородных триадных, тетрадных и пентадных цепей

Распространим метод анализа на самоустанавливаемость, применённый в п. 1, на неоднородные триадную, тетрадную и пентадную цепи<sup>4</sup>.

Избыточная связность для этих цепей запишется так:

- для триадной неоднородной цепи с одной триадой

$$q_{mp} = 2N_{mp} + 4n_{IIавт} = 2 + 4n_a; \quad (5)$$

- для тетрадной неоднородной цепи с одной тетрадой

$$q_{тетр} = N_{тетр} + 4n_{IIавт} = 1 + 4n_a; \quad (6)$$

- для пентадной неоднородной цепи с одной пентадой

$$q_{пент} = 4n_{IIавт} = 4n_a. \quad (7)$$

Множества одноподвижных кинематических пар в рассматриваемых цепях равны:

$$\left. \begin{aligned} p_{1mp} &= 4 + 2n_a, \\ p_{1тетр} &= 5 + 2n_a, \\ p_{1пент} &= 6 + 2n_a. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

<sup>3</sup> Речь идет об устранении избыточных связей в механизме спарника тепловоза

<sup>4</sup> Структурно-функциональные свойства триад, тетрад и пентад подробно рассмотрены в работе [3].

После соответствующих подстановок выражений по (5), (6), (7) и (8) в (3) и нахождения предельных значений для коэффициента самоустанавливаемости по видам неоднородных цепей окончательно получим:

$$-1 \leq \alpha_{c-mp} \leq 0,5, \quad (9)$$

$$-1 \leq \alpha_{c-теп} \leq 0,8, \quad (10)$$

$$-1 \leq \alpha_{c-пент} \leq 1. \quad (11)$$

Сравнение пределов изменений коэффициента самоустанавливаемости  $\alpha_c$  по (4), (9), (10) и (11) указывает на его одинаковое предельно возможное нижнее значение, равное минус единице для всех четырех видов неоднородных цепей – диадных, триадных, тетрадных и пентадных. Верхние предельные значения коэффициента  $\alpha_c$  для рассматриваемых цепей существенно различны и находятся в границах от +1 для пентадных цепей до нуля для диадных цепей.

С точки зрения структурного и эксплуатационного качества, а также минимизации себестоимости изготовления, пентадные цепи следует предпочитать тетрадным, тетрадные – триадным, триадные – диадным цепям.

Значение  $\alpha_c = +1$ , что соответствует нулевой избыточной связности, можно достигать не только с помощью полных пентадных цепей с одноподвижными парами, что, например, наблюдается в карданной передаче оптимальной конструкции [4], но и с помощью сокращенных эквидиконтурных пентадных цепей, реализующих наиболее рационально метод модификации кинематических пар [2].

**Выводы.** 1. Однородные диадные, триадные, тетрадные и пентадные кинематические цепи имеют значения структурного качества (самоустанавливаемости)  $\alpha_c$  в процентах соответственно: 0%, 50%, 80% и 100%, следовательно, пентадные цепи предпочтительней тетрадных, тетрадные – триадных и триадные – диадных.

2. Неоднородные цепи всех рассматриваемых видов – несамоустанавливаемые, т.е. статически неопределимые. Такие цепи имеют в пределе весьма низкое структурное качество:  $\alpha_c = -100\%$  и предъявляют высокие требования к точности изготовления и сборки на уровне 4 – 5 квалификационных, при этом относительная себестоимость изделий становится высокой.

3. Структурное улучшение неоднородных цепей возможно совокупным применением двух методов:

- заменой (модификацией) одноподвижных кинематических пар двух, трех, четырех и пятиподвижными;
- введением дополнительных контуров, которые способны образовывать с автодисконтурными статически определимыми пентадными группами. Такая методика целесообразна при оптимизации структуры крупных машин, для которых достижение высокого качества изделия за счет повышенной точности изготовления неприемлемо.

#### Л и т е р а т у р а

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов. – М.: Наука, 1967. – 720 с.
2. Дрягин Д.П. Строение механизмов. Новые методы структурного анализа и синтеза. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2000. – 67 с.
3. Дрягин Д.П. Контурозвенность кинематических цепей. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2005. – 260 с.
4. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы. – М.: Машиностроение, 1991. – 284 с.

УДК 629.1

**В.Н.Кожин, Д.В.Александров, В.Е.Александров, Д.Н.Пугачев**

#### **ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации применения автоматических систем пожаротушения для пожарной защиты автотранспортных средств. Ист. 5.

**Анализ состояния вопроса.** Пожары на транспорте быстротечны и вероятность возникновения пожара на 1 тыс. автомобилей в год составляет около  $3,7 \cdot 10^{-3}$  [1]. Экономический ущерб при этом превышает 3%, а гибель людей достигает 15% от общего количества погибающих на пожарах [2]. Основными причинами пожаров автомобилей являются неисправности топливной и электрической систем. При возникновении загорания в моторном отсеке продукты горения попадают в кабину или салон автомобиля, что может привести к отравлению водителя и пассажиров.

**Постановка задачи.** Автомобиль должен иметь систему пожарной защиты моторного отсека (как наиболее вероятного места загорания), которая способна в минимальный срок обнаружить и приступить к тушению возникшего очага загорания [3]. На спортивных и большегрузных автомобилях устанавливаются автоматические системы пожаротушения. Эти системы состоят из баллонов с огнетушащим веществом, находящимся под давлением, трубопровода, распылителей, датчиков обнаружения очага загорания и пульта управления.

Разместить подобную установку на легковом автомобиле сложно, т.к. объем моторного отсека не позволяет разместить вышеперечисленные узлы системы, поэтому более приемлемой является автоматическая система локального пожаротушения (АСЛП). Данные системы состоят из датчика обнаружения загорания, пульта управления и импульсного исполнительного устройства. Поэтому целью выполненных исследований была разработка рекомендаций по применению АСЛП.

**Материалы и результаты исследования.** На основании проведенных на кафедре охраны труда ВНУ им.В.Даля исследований можно сделать следующие рекомендации по применению АСЛП. Объем рабочей камеры выбирается в зависимости от объекта защиты и его уровня пожароопасности. Пиротехнический заряд выбирается от требуемых скоростных режимов вытеснения хладагента и доставки его в очаг загорания. В зависимости от дальности доставки хладагента необходимо рассчитать условия полного дробления хладагента на капли [4]. Для этого можно воспользоваться следующими формулами:

$$\ell = 2r_0 (278 - 2,1 \cdot 10^{-4} R_e). \quad (1)$$

Формула дает длину участка струи от сопла, после которой сплошной поток дробится на капли

$$a = \frac{10[1 + 1,5(2/z)]^{-0,37} \cdot \delta}{2\rho V_{zo}^2}. \quad (2)$$

По этой формуле рассчитывается осредненный размер капли (ее радиус).

$$\frac{dV}{dt} \approx a_0 (\Delta T \lambda_{\Pi} / \rho_{ж})^{3/4} \cdot (\mu_{\Pi})^{-1/4}. \quad (3)$$

В формулах (2, 3) смысл и размерность входящих параметров следующие:  $r_0$  – радиус сопла;  $R_e$  – число Рейнольдса;  $\delta$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\mu_{\Pi}$  – динамический коэффициент вязкости пара;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости;  $V$  – текущий объем капли;  $\tau$  – время;  $a_0$  – начальный радиус капли;  $\Delta T$  – местный перепад температуры;  $\lambda_{\Pi}$  – коэффициент теплопроводности насыщенного пара.

Максимальная дальность доставки струи хладагента достигается при начальной ориентации ее к горизонту под углом 36-38° [5].

Значения максимальной дальности доставки хладагента в капельной фракции при начальном угле в 36-38° можно принять равной 1/4 максимальной доставки хладагента без учета сопротивления среды под начальным углом выброса в 45°.

После попадания капельной фракции хладагента в очаг загорания жидкость закипает непосредственно на поверхности горения. Последующие порции капельной фракции хладагента растекаются по парообразной фазе, как по паровому пограничному слою. Начинается интенсивное охлаждение очага горения за счет перехода капель в парообразное состояние. При понижении температуры кипение прекращается, а очаг загорания превращается в смачиваемое пятно и горение прекращается. При этом очень важно, чтобы пузырьковое кипение не переходило в пленочное из-за повышенной подачи хладагента. При этом время теплоотвода от очага  $\tau$  и общее количество отведенного тепла  $Q$  загорания можно определить по формулам:

$$\tau = \frac{0,25\Delta T_{ж}^2 \cdot \pi \lambda_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot c}{q^2}, \quad (4)$$

$$Q = 2\pi \int_0^r q \cdot r \cdot dr, \quad (5)$$

где  $c$  – теплоемкость;  $q$  – плотность теплового потока.

Поэтому, зная теплотворную способность горючего вещества, можно определить объем хладона, способного нейтрализовать выделяемое тепло от очага пожара. При этом необходимо соблюдать соответствующую тактику тушения.

Механический эффект тушения эффективнее проявляется при подаче хладона в очаг загорания под углом к зеркалу горения, т.к. выбивает горящие частицы, уносит их и одновременно охлаждает. Аналогичным механизмом тушения обладают закрученные потоки, когда охраняемые объекты находятся недалеко от исполнительных устройств.

Данные рекомендации не исключают химического механизма тушения, который в основном заключается в прекращении реакции горения за счет отбора кислорода.

**Выводы.** Применение автоматических систем локального пожаротушения с учетом предложенных рекомендаций обеспечивает повышение эффективности пожарной защиты автотранспортных средств, при этом тактико-технические и конструкторские характеристики используемых устройств могут быть рассчитаны на основании приведенных математических зависимостей в рекомендациях.

### Л и т е р а т у р а

1. Исхаков Х.И., Пахомов А.В., Каминский Я.Н. Пожарная безопасность автомобиля. – М.: Транспорт, 1987. – 90 с.
2. Касьянов Н.А. Способы и средства импульсного пожаротушения объектов промышленного транспорта: монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2006. – 359 с.
3. Джафаров М.А., Лозовой Н.Ф., Луценко В.И., Федоров В.К. Обеспечение пожарной безопасности на аэродромах гражданской авиации. – М.: Транспорт, – 1987. – 263 с.
4. Бартхель Ф. Газодинамика горения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 280 с.
5. Касьянов Н.А., Александров В.Е., Севриков И.В. Огнетушители с газогенерирующими зарядами для транспортных объектов: монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2003.

УДК 529.3: 629.7

**Б.Б.Игнатьев, В.Б.Игнатьева**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ПРИ ОКОНЧАТЕЛЬНОМ ФОРМОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДАВЛЕНИЕМ

Приводится методика определения структурнотехнологических параметров, обеспечивающих качество пропитки и заданную степень наполнения при окончательном формировании сложнопрофильного стержневого изделия. Рис. 3, ист. 5.

**Введение.** Качество стержневых изделий сложного профиля, изготавливаемых из волокнистых композиционных материалов, во многом определяется качеством пропитки армирующих материалов связующим в процессе формования. Особенно это касается изделий, изготавливаемых плетельно-пултрузионным методом, в которых оплеточный слой зачастую формируется сухой арматурой, пропитка которой должна обеспечиваться в процессе последующей технологической обработки полуфабриката изделия. При этом решается комплекс задач, связанных с выбором методов и приемов формообразования изделия, формирования его структурных элементов, конструкции применяемого технологического оборудования, параметров технологического процесса [1,2].

**Постановка задачи.** Пакет материала будущего изделия формируется на цилиндрической оправке в виде полуфабриката на этапах процесса предварительного формования, включаю-

щего в себя операции пропитки, отжима, раскладки основной арматуры по поверхности оправки, предварительного формования, нанесение кольцевого оплеточного слоя и калибровки [2]. Часть армирующих компонентов полуфабриката содержит излишки связующего. При этом количества оставшегося связующего должно быть достаточно для обеспечения заданных степеней наполнения каждого из конструктивных элементов, включая оплеточный слой. Задачей данного исследования является расчет технологических параметров процесса окончательного формообразования изделия, обеспечивающих условия перераспределения связующего и обеспечение качества пропитки и заданной степени наполнения всех его конструктивных элементов.

**Материалы и результаты исследований.** После проведения процесса калибровки можно проводить окончательное формирование профиля изделия. Однако, поскольку при формировании изделий сложного профиля осуществляется операция прошивки, ее наличие требует разделения процессов формирования стойки и полок. Это обусловлено тем, что прошивка должна проводиться при заданных размерах толщины стойки, в то время как сформированные полки препятствуют движению прошивочного инструмента.

Сам по себе процесс формирования стойки также разделяется на два этапа:

- предварительное формование;
- окончательное формование.

Задачей первого этапа является формирование из полуфабриката, имеющего цилиндрическую форму наружной поверхности, плоской стенки профиля.

При этом должны быть решены задачи центрирования профиля, разделения материалов стойки и полок, частичного уплотнения материала стойки и фиксации ее границ путем прошивки. Все эти задачи являются задачами конструкторского характера и решаются на этапе проектирования оснастки и оборудования. Уплотнение материала в этом случае выполняет лишь задачу объединения его частей, ранее располагавшихся на диаметрально противоположных участках полуфабриката. Давление при этом не должно быть большим, так как необходимо обеспечение достаточной свободы перемещения волокон при прошивке. В противном случае будет происходить разрушение волокон основного материала, что приводит к снижению прочности получаемого изделия.

Максимальная величина этого давления обычно ограничивается величиной давления  $p_c$ , возникающего при деформировании предварительно натянутых элементов материала, из которых формируется стойка, и определяется усилием их натяжения  $P_3$  и радиусом кривизны уплотняющих поверхностей  $R_y$  (рис. 1)

$$p_c = \frac{P_3 F_c}{2 F h_c R_y}, \quad (1)$$

где  $F_c$  и  $F$  – площади поперечного сечения стойки профиля и полная площадь профиля изделия;  $h_c$  – высота стойки профиля.

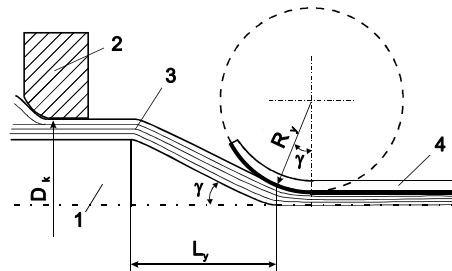


Рис. 1. Первичная приформовка стойки профиля: 1 – оправка; 2 – калибрующая фильера; 3 – формируемый материал; 4 – формирующее устройство

При «мокром» способе пропитки материала стойки на этом этапе также будет происходить процесс частичной пропитки оплеточного слоя. При этом рассмотренный в [2] механизм пропитки будет реализовываться при величине давления  $p_c$ , определяемой по формуле:

$$p_c \leq \frac{\eta v_{np} R_y}{k_{np}^r} \operatorname{arctg} \left( \frac{D_k - b_c}{2L_y} \right), \quad (2)$$

где  $D_k$  – диаметр калибрующей фильеры;  $b_c$  – толщина стойки профиля;  $\eta$  – вязкость связующего;  $v_{np}$  – скорость протягивания;  $k_{np}^r$  – коэффициент проницаемости в радиальном направлении;  $L_y$  – конструктивный параметр, равный расстоянию по оси изделия от точки схода полуфабриката с оправки до точки соприкосновения с уплотняющим устройством.

При использовании препрега выдавливания связующего на этом этапе не происходит.

Этап окончательного формования является заключительным этапом формообразования стойки профильного изделия. Эта операция может осуществляться либо совместно с формованием полок, либо в отдельности.

В первом случае формование профиля происходит в специальной формующей фильере, размеры которой обеспечивают заданные геометрические параметры изделия. В этой же фильере происходит окончательный отжим и перераспределение связующего по сечению профиля, дополнительная пропитка оплеточного слоя и отверждение изделия. Поэтому фильера разогревается до температуры, соответствующей температуре полимеризации связующего.

Во втором случае заданные геометрические размеры стойки обеспечиваются предварительно, до формования полок, путем пропускания ее между двумя формующими пластинами или роликами, разогретыми до температуры, обеспечивающей заданную вязкость связующего. Достоинством этого метода является возможность снижения усилий сопротивления протягиванию, а также совмещения этой операции с прошивкой. Этот способ предпочтительно применять при изготовлении крупногабаритных профильных изделий. Задачей формующей фильеры при использовании этого метода, помимо формования полок профиля, является калибровка размеров стойки, при необходимости дополнительная пропитка оплеточного слоя путем наружного нанесения связующего и отверждение изделия.

Во всех этих случаях при опрессовке элементов изделия развиваются значительные давления, и не выполняется условие (2). Это приводит к тому, что связующее перемещается в продольном направлении, и процесс фильтрации его в поперечном направлении происходит не только в формующих устройствах, но и за пределами их действия.

Определим закон изменения градиента давления по длине формируемого элемента, например, стойки, перед фронтом формования (рис. 2). При разработке математической модели процессов, происходящих при формовании, связующее, как и в предыдущем разделе, рассматриваем как вязкую несжимаемую жидкость, подчиняющуюся при фильтрации закону Дарси. При этом течение жидкого связующего будем рассматривать отдельно от напряженного состояния жесткой арматуры [2].

Рассмотрим баланс потоков связующего в некотором элементарном объеме формируемого элемента длиной  $dx$ , удаленном от зоны формования на некоторое расстояние  $x$ .

Поток связующего, проходящего через поперечное сечение элемента с координатой  $x$  в продольном направлении, может быть определен из выражения [3,4]

$$q_L(x) = \frac{k_{np}^L p(x)}{\eta x} \cdot S_L, \quad (3)$$

а на расстоянии  $(x + dx)$  из выражения

$$q_L(x + dx) = \frac{k_{np}^L [p(x) + dp]}{\eta(x + dx)} \cdot S_L \approx \frac{k_{np}^L p(x) S_L}{\eta x} + \frac{k_{np}^L S_L dp}{\eta x}. \quad (4)$$

В этих выражениях площадь, через которую проходит поток связующего в продольном направлении, определится через площадь формируемого элемента следующим образом

$$S_L = (1 - \phi_1) \cdot F_c = (1 - \phi_1) \cdot b_c h_c. \quad (5)$$

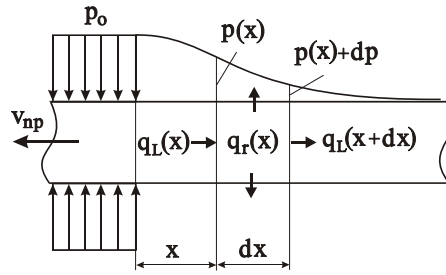


Рис. 2. Распределение давлений и потоков связующего при окончательном формировании профильного изделия

Часть связующего при этом выдавливается из рассматриваемого объема элемента в радиальном направлении.

Полагая, что на участке  $dx$  имеет место линейная зависимость  $p(x)$ , можно записать

$$q_r(x + dx) = \frac{2k_{np}^f \left[ p(x) + \frac{dp}{2} \right]}{\eta b_c} \cdot S_r. \quad (6)$$

Проницаемость в радиальном направлении определится произведением

$$S_r = n_r e^2, \quad (7)$$

где  $n_r$  – число каналов фильтрации;  $e$  – расстояние между соседними волокнами;  $d_B$  – диаметр волокон.

В предположении сетчатой структуры расположения волокон число каналов равно

$$n_r = \frac{2h_c dx}{(d_B + e)^2}. \quad (8)$$

Расстояние  $e$  может быть определено по степени наполнения  $\varphi_1$ , которую можно представить в виде произведения

$$\varphi_1 = \psi_1 \cdot \psi_2, \quad (9)$$

Структурная характеристика  $\psi_1$  определяется видом укладки волокон и численно равна степени наполнения при максимально плотной упаковке.

В частности, при фильтрации связующего в радиальном направлении оптимальной является гексагональная структура, как обеспечивающая большую величину просвета между волокнами. В этом случае  $\psi_1 \approx 0,907$ .

Параметр  $\psi_2$  является геометрической характеристикой и определяет связь расстояния между волокнами  $e$  и степенью наполнения:

$$\psi_2 = \frac{1}{(1 + k_2)}, \quad k_2 = \frac{e}{d_B}.$$

Тогда расстояние между волокнами может быть рассчитано по формуле

$$e = d_B \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right). \quad (10)$$

Подставляя значения (8) и (10) в (7), получим:

$$S_r \approx 2,2h_c \varphi_1 \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right)^2 dx. \quad (11)$$

Составляя уравнение баланса потоков на основании уравнений (3), (4) и (6), получим

$$\frac{dp}{p(x)} = \frac{3\varphi_1 \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right)^2 dx}{b_c^2 (1 - \varphi_1)} = \beta dx, \quad (12)$$

где

$$\beta = \frac{3\varphi_1 \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right)^2}{b_c^2 (1 - \varphi_1)}. \quad (13)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$\ln p(x) = -\beta x^2 + \ln C \quad \text{или} \quad p(x) = C \cdot e^{-\beta x^2}.$$

Постоянная  $C$  определяется из начальных условий:

$$\text{при } x = 0, \Rightarrow C = p_c.$$

Таким образом, закон изменения давления в этом случае описывается экспоненциальной зависимостью

$$p(x) = p_c \cdot e^{-\beta x^2}. \quad (14)$$

Очевидно, объем связующего, удаляемого при формировании данного элемента профиля за единицу времени, должен быть равен суммарному объему связующего, проходящего через его поверхность

$$Q_r = \int_0^{\infty} \frac{k_{np}^L F_c (1 - \varphi_1)}{\eta} \cdot \beta p_c e^{-\beta x^2} dx. \quad (15)$$

Значение  $\int_0^{\infty} e^{-\beta x^2} dx = 0,5 \sqrt{\frac{\pi}{\beta}}$  [5].

Тогда после подстановки значений получим

$$Q_r = \frac{\sqrt{3\pi} k_{np}^L}{2\eta} h_c p_c \sqrt{\varphi_1 (1 - \varphi_1)} \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right). \quad (16)$$

Разделив этот объем на скорость протягивания  $v_{np}$ , получим величину площади связующего в поперечном сечении изделия, которое при его удалении обеспечит значение давления, равное  $p_c$ .

Если связующего, содержащегося в структуре полуфабриката, достаточно для обеспечения полной пропитки рассматриваемого участка оплеточного слоя при проведении данной операции, то его избыточная площадь определится как разность между полной площадью необходимого для пропитки связующего, и площадью уже использованного

$$F_0^c = 2(1 - \varphi_0) \delta_0 h_c - 2(1 - \varphi_0) L_r^\Phi h_c = 2 h_c (1 - \varphi_0) (\delta_0 - L_r^\Phi), \quad (17)$$

где  $\delta_0$  – толщина оплеточного слоя.

Тогда давление формования, возникающее в объеме формующего устройства, определится из выражения

$$p_c = \frac{1,3 \eta v_{np} (1 - \varphi_0) (\delta_0 - L_r^\Phi)}{k_{np}^L \sqrt{\varphi_1 (1 - \varphi_1)} \left( \sqrt{\frac{0,907}{\varphi_1}} - 1 \right)}. \quad (18)$$

Как следует из анализа полученной формулы, ее можно применять для расчета давлений в формующем устройстве или фильере при формировании любых участков профиля. При этом переменными параметрами являются коэффициент проницаемости в продольном направлении  $k_{np}^L$ , являющийся функцией структурных параметров основного материала элементов профильного изделия, вязкость связующего, зависящая от температурного режима обработки данного участка

профиля, и относительная глубина пропитки оплеточного слоя  $L_r^\Phi$ , полученная на предварительных этапах силовой обработки полуфабриката изделия.

Структурный анализ формулы показывает, что развивающееся в структуре материала давление линейно зависит от вязкости связующего, скорости протяжки и предварительной пропитки оплеточного слоя. В то же время оно является сложной функцией степени наполнения, поскольку этот структурный параметр определяет также и величину коэффициента проницаемости, и степень наполнения оплеточного слоя.

На рис.3 приведен график зависимости максимального давления от степени наполнения и относительной глубины предварительной пропитки оплеточного слоя. Из графика видно, что при увеличении степени наполнения давление быстро возрастает, и при высоких степенях наполнения может достигать величин, соизмеримых с прочностью волокон при сдвиге.

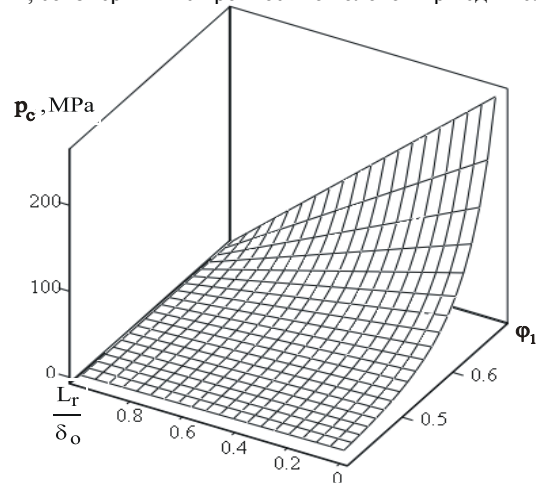


Рис. 3. Зависимость давления при окончательном формировании профиля от степени наполнения и предварительной пропитки оплеточного слоя

**Выводы.** 1. Исследованы основные физические процессы, имеющие место при окончательном формировании сложнопольного стержневого изделия из композиционных материалов. Установлено, что определяющую роль при силовых воздействиях во время формирования оказывают процессы фильтрации связующего в межволоконном пространстве.

2. Получены основные теоретические зависимости, устанавливающие взаимосвязь между структурными параметрами материала изделия и силовыми технологическими параметрами пул-трузионного процесса, на основе которых предложена методика расчета давлений в формирующем устройстве при формировании любых участков профиля при заданных структурно-технологических параметрах.

#### Л и т е р а т у р а

1. Игнатъев Б.Б., Игнатъева В.Б. Разработка основных этапов технологического процесса обработки давлением при формировании сложнопольных стержней из композитов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр., ч.1 – Луганськ, СНУ ім. В. Даля, 2003. – С. 87 – 93.
2. Игнатъев Б.Б., Игнатъева В.Б. Расчет технологических параметров при предварительном формировании полуфабриката стержневого изделия // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. – № 7(113). – 2007. – С.125-132.
3. Бочкарев С.В., Гимерверт Д.А. Фильтрация полимерных связующих в процессе намотки изделий из композитных материалов // Механика композитных материалов. – 1988. – № 6. – С. 116 – 120.
4. Колосов А.Е. Пропитка волокнистых наполнителей связующим. Кинетические уравнения продольной и поперечной пропитки // Механика композитных материалов. – 1987. – № 5. – С. 878 – 886.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Г.И.Нечаев, Г.В.Короп, Ю.В.Короп

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА**

В статье изложены проблемы управления промышленным железнодорожным транспортом, сформулированы цели и задачи их решения, а также показана роль имитационного моделирования в виде системы поддержки принятия решений, как инструмента повышения эффективности управления промышленным транспортом. Рис. 2, ист. 6.

Основной задачей работы промышленного транспорта является обеспечение технологической потребности предприятия в условиях неравномерного и скачкообразного поступления вагонов из внешней сети. При этом время нахождения вагонов на предприятии значительно возрастает вследствие нехватки обслуживающих устройств и ограниченности их перерабатывающей способности. В этом случае поступающие вагоны, ожидающие своей очереди на переработку, увеличивают нагрузку на станционно-путевые ресурсы предприятия, тем самым усложняя переработку основного вагонопотока. Вследствие этого увеличивается общее время оборота вагонов по предприятию.

Преобладающая часть финансовых транспортных затрат предприятий составляет оплата вагоночасов пользования вагонов. Поэтому основным путем снижения этих затрат является ускорение процесса оборота вагонов. Достижение поставленной задачи возможно путем применения в управлении транспортом научно-логического подхода.

Управление системой транспорта осуществляется в виде оперативного планирования диспетчерским аппаратом, который определяет: порядок и сроки приема вагонов и подачи их под погрузку - разгрузку; формирование составов и сдачу их на станцию примыкания; порядок использования поездных и маневровых локомотивов, и т.д. При этом значительное влияние на эффективность управления, и как следствия уменьшения транспортных затрат, влияет квалификация и опыт диспетчера. Который планирует в режиме реального времени разнородные операции с большим количеством единиц подвижного состава. Для этого он обязательно должен обладать полной информацией относительно текущего состояния всех элементов транспортной системы предприятия и выбирать один из множества возможных вариантов решения возникающих задач. Опытный специалист перед принятием окончательного решения просчитывает, обычно, не более 2-3 альтернативных вариантов выполнения стоящих перед ним оперативных задач, учитывая при этом их влияние на дальнейшее развитие транспортной обстановки в течении нескольких часов. Но, как показывают исследования, этого не достаточно для достижения минимума затрат на транспортную работу. Повысить эффективность возможно, если рассматривать параллельно более 10 альтернативных «ниток» принятых решений, с учётом последствий от них на 6 и более часов.

Решить обозначенную проблему возможно путем создания имитационно-оптимизирующей системы на базе ЭВМ, предназначенной для поддержки принятия решений в оперативном управлении работой транспорта. Разрабатываемая система имеет своей целью предложить, выбрать и проверить оптимальную комбинацию транспортных операций, с учетом влияния их на параметры системы в целом.

Основным критерием исследуемой системы должен быть финансовый показатель с обязательным удовлетворением технологических нужд предприятия. Поэтому в качестве главных задач следует выделить следующие:

- поиск оптимального варианта расстановки вагонов по грузовым фронтам с учетом сложившейся ситуации.
- поиск оптимального варианта уборки или перестановки вагонов с грузовых фронтов с учетом сложившейся обстановки.
- разработка (совершенствование системы, схемы и систем) имитационной модели маневровой работы расформирования – формирования для реальной подачи с учетом фактической загрузки подъездных путей.

В формализованном виде существующий процесс управления промышленным транспортом предприятия следует отнести к системе управления с обратной-информационной связью (рис.1). К основным элементам этой системы отнесем:

SU - управляемый объект - вагонопоток на уровне целостной системы транспортно-складского комплекса промышленного предприятия или его элементов;

SV - орган управления (дежурный по станции, по маневровому району или диспетчер предприятия);

ИО<sub>i</sub> - исполнительный орган (локомотивные бригады, далее в системе локомотивы, погрузочно-разгрузочные комплексы (грузовые фронты), пункты перевески и восстановления сыпучести грузов, элементы путевого развития и т.д.)  $i=1 \dots n$ ;

Система функционирует во времени T, и в нее с различной периодичностью поступает входящий вагонопоток X(t), требующий переработки на имеющихся мощностях предприятия ИО<sub>i</sub>.

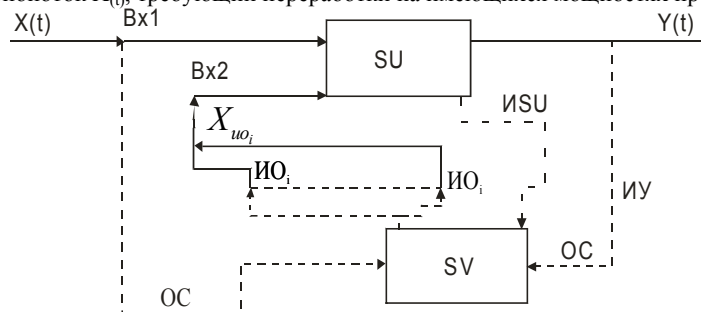


Рис. 1. Управление системой промышленного транспорта

Информация о поступающих в систему вагонах, по каналам связи ОС поступает диспетчеру предприятия (SV), который, проанализировав информации ИУ и ИСУ о реальной ситуации на подъездных путях предприятия и степени переработки поступившего ранее вагонопотока, выдает соответствующие управляющие сигналы исполнительным органам системы ИО<sub>i</sub>.

В ходе описания и построения имитационно-оптимизирующей системы, процесс управления железнодорожным промышленным транспортом предприятия будет иметь вид, представленный на рис. 2.

Система транспорта функционирует согласно функции выходов:

$$Y_{(t)} = f[X_{(t)}; \Theta_{(t)}],$$

функциям переходов:

$$\Theta_{(t)} = g[X_{(t)}, \Theta_{(t-1)}],$$

и функции управления процессом:

$$\lambda_{(t)} = U[Y_{(t-1)}],$$

здесь  $\lambda_{(t)}$  - множество значений материального потока поступающего в систему и требующего переработки.

Первые два уравнения моделируют суть изучаемого процесса, а третье уравнение является математическим описанием (моделью) процесса управления объектом промышленного транспорта.

Управляющему органу SV, как правило, доступно множество Y'\_{(t)} (выходных параметров), и весьма ограниченное подмножество X\_{(t)}, управляющих факторов. Его представление о внутренних состояниях управляемой системой так же ограничено некоторым подмножеством  $\Theta_{(t)}$ . Поэтому для управляющего органа SV, математическая модель имеет вид:

$$\begin{aligned} f'[X'_{(t)}, \Theta'_{(t)}] &= Y''_{(t)}, \\ g'[X'_{(t)}, \Theta'_{(t)}] &= \Theta'_{(t+1)}. \end{aligned}$$

Ограниченность X\_{(t)} вызвана тем, что человеку сложно с точностью просчитать Y в короткий промежуток времени величины Y'\_{(t)}=f(X'\_{(t)}). А поскольку развитие транспортной ситуации в совокупности с множеством сигналов влечет за собой большое множество вариантов развития ситуации, то целью математической модели становится просчет, выбор и предложение управляющему органу некоего X\_{(t)}, гарантирующего безостановочную работу системы с достижением оптимума по затратам.

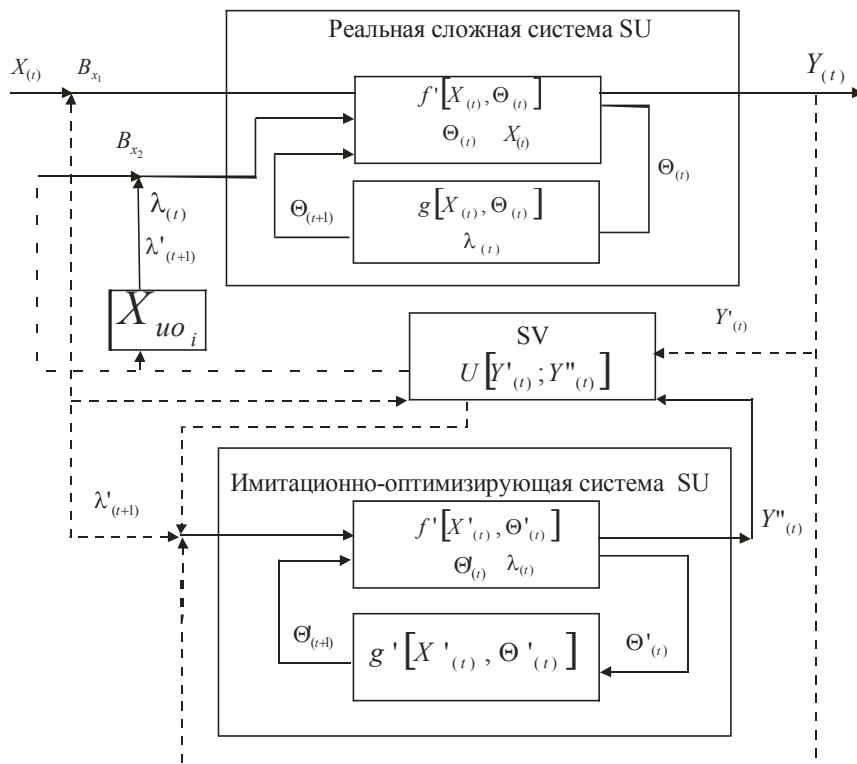


Рис. 2. Схема обобщенной математической модели процесса

$\Theta_{(t)}$  - множество значений параметров, характеризующих различные внутренние состояния сложной системы в этот же момент времени;

$Y_{(t)}, Y_{(t-1)}$  - множество выходных (результативных) значений в обозначенные моменты времени.

Выводы: для достижения поставленной цели необходимо следующее:

- разработать имитационную модель, позволяющую смоделировать транспортные процессы в режиме реального времени на промышленном предприятии;
- в комплексе с построенной моделью разработать методику поиска оптимальных решений в задачах оперативного управления промышленного транспорта;
- по результатам вычислений информационно-оптимизирующей модели построить динамический суточный график, который наглядно представил бы пользователю развитие транспортной ситуации во времени.

#### Литература

1. Шмудевич М.И. Юшевич Е.П. Информационное взаимодействие железнодорожного транспорта и предприятий - М: Транспорт. 1984. - 240 с.
2. Короп Г.В. Анализ и пути совершенствования транспортного обслуживания промышленного предприятия. - Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. Науковий журнал. Технічні науки. Серія Транспорт. №10[68] Частина 2. Луганськ - 2003. - С. 66-72.
3. Автоматизация работы сортировочных станций./Под общей редакцией Г. И. Осипенко и Бернардо дел Рио.-М.: Транспорт. 1964. - 175 с.
4. Абрамов С.А. Основы построения автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ): Учеб. пособие - М.: МИИТ, 1981. - 93 с.: ил.; 20 с.
5. Автоматизированные информационные системы на железнодорожных станциях / под ред Е. М. Шафит и др. - Днепропетровск : ДИИТ, 1986. - 119 с.
6. Терюкова Л.И. Анализ работы технических систем промышленного железнодорожного транспорта в промузле: Автореферат диссертации на получение научной степени кандидата технических наук (05.22.12): Государственная академия строительства: Ростов-на-Дону, 1996. - 30 с.

А.В.Чесноков

**К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ СТЕРЖНЕВЫХ  
АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ**

В статье предложена блок-схема и обоснована кинематическая схема установки автоматизированной укладки слоев горизонтальных стержней для сборки стержневых армирующих каркасов, описан принцип работы узлов установки и определены функциональные требования к ним. Рис. 3, ист. 2.

Расширение области использования перспективного углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) на основе стержневых армирующих каркасов (АК) сдерживается высокой стоимостью их изготовления. Минимальная цена на углерод-углеродные материалы невысокого качества сегодня составляет ~200 US \$/кг, а для качественных материалов - несколько тысяч US \$/кг. Снижение сроков производства и стоимости материала возможно за счет автоматизации процессов заготовительного производства (изготовление стержневого полуфабриката и сборка АК), уровень автоматизации которого существенно отстает от технологических процессов насыщения каркасов углеродом матрицы, которые выполняются в автоматическом режиме.

По некоторым данным объем мирового производства УУКМ сегодня составляет свыше 1000 т/год. Примерно 81% всех углерод-углеродных материалов используется для производства тормозных дисков для самолетов, 18% - в ракетно-космической технике и только 1% - для всех остальных сфер применения. В то время как требования к УУКМ для ракетно-космической техники постоянно растут, и объем производства тормозных дисков для самолетов стабильно увеличивается на ~ 12% в год (данные за несколько лет после 1990). Снижение затрат на заготовительное производство УУКМ приведет к значительному экономическому эффекту.

В общегосударственной целевой научно-технической космической программе Украины на 2008÷2012 годы, разработанной Кабинетом Министров Украины, распоряжение № 991 от 14.10.2007 года, в разделе 6 «Разработка перспективной космической техники и технологий» отмечается о необходимости «Разработки перспективных технологий и материалов ракетно-космической техники», что подтверждает актуальность темы исследования.

Вопросы формирования структуры процесса сборки рассматривался в работе [1], где на основании анализа сборки АК вручную, предложено разделить его на две операции: установка вертикальных стержней и укладка слоев горизонтальных стержней (УСГС) с изменением угла укладки. И был определен способ укладки стержней – подача одиночного стержня на заданную глубину и обрезка стержня у каркаса, перемещение к следующему просвету между рядами вертикальных стержней и повтор процесса до заполнения ряда. Развитие этого способа сборки стало перспективным в результате изменения вида протяжки и хранения полуфабриката - стержня при его изготовлении, изложенном в работе [2].

Цель данной работы определить силовые и функциональные требования к узлам установки УСГС, спроектировать кинематическую схему установки автоматизированной УСГС для сборки стержневых армирующих каркасов структур 3D и 4D -л.

Разделим операцию укладки слоев горизонтальных стержней на составные части и представим в виде блок-схемы, рис. 1.

Началом УСГС считаем закрепление направляющих плит с предварительно набранными вертикальными стержнями на сборочной установке с расстоянием между плитами  $H$ . Подающее устройство (ПУ) и находящийся внутри него стержень расположены всегда параллельно одному из направлений укладки горизонтальных слоев. Исходными данными для сборки каркаса являются:  $D$  – наружный диаметр АК;  $d$  - диаметр отверстия в АК (если АК цилиндр  $d = 0$ );  $Z$  – высота УСГС;  $hz$  – шаг слоев вертикальных стержней;  $hy$  – шаг укладки стержней в слое;  $n$  – количество направлений армирования в плоскости  $xy$ . Перечисленные параметры рассчитываются на этапе проектирования расположения армирующих волокон в каркасе. Параметр  $j$  введен для возможности продолжения сборки каркаса при вынужденном выключении установки. Учитывая рекоменда-

ции [1], сборка осуществляется с двух диаметральных сторон. На рис. 2 показана система координат сборочной установки.

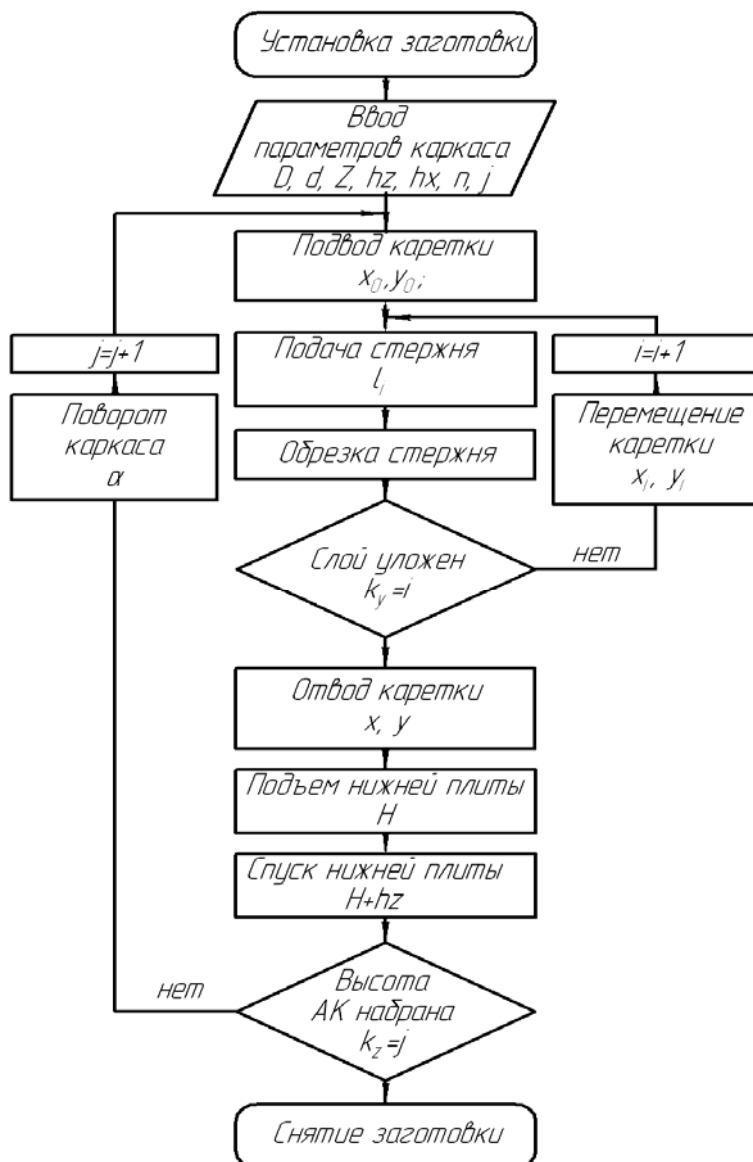


Рис. 1. Блок-схема выполнения операции УСГС

Система координат установки находится на оси каркаса. Расположение отверстий в плите задается таким образом, чтобы в центре было отверстие под вертикальный стержень. Нулевое положение подающего механизма выбирается из условия, свободного обслуживания каркаса максимального типоразмера и определяется константами установки  $x_n, y_n$ . Количество стержней в горизонтальном слое  $k_y$  и количество слоев  $k_z$  определяется из соотношений:

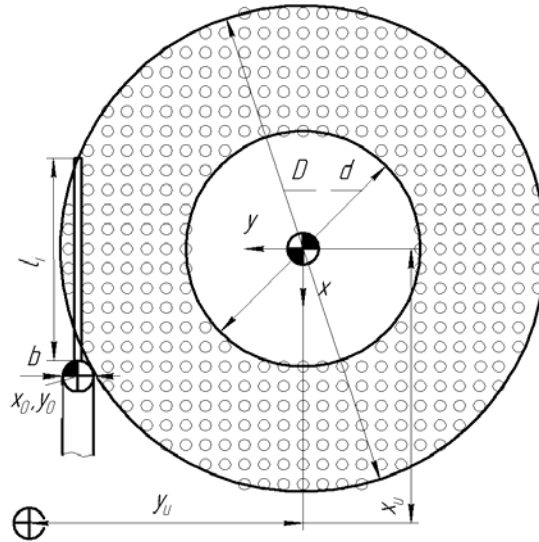


Рис. 2. Система координат сборочной установки

⊙ - нулевая точка отсчета; ⊕ - ноль ПУ; ⊕⊙ - нулевое положение ПУ

$$\text{для цилиндра } k_{yц} = \left[ \frac{D}{2h_y} \right], \quad (1)$$

$$\text{для кольца } k_{yк} = \left[ \frac{D}{2h_y} \right] + \left[ \frac{d}{2h_y} \right], \quad (2)$$

$$k_z = [Z/hz]. \quad (3)$$

Значение в скобках округляют отбрасыванием дробной части. При этом укладка стержней при сборке цилиндра выполняется до середины каркаса с каждой стороны, а при сборке кольца до полного обхода центрального отверстия.

Координаты каретки для укладки  $i$ -го стержня определяются из геометрических построений:

$$\begin{aligned} y_i &= (k_{yц} - i + 1) \cdot h_y \\ x_i &= \sqrt{0.25(D + b)^2 + y_i^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $b$  – ширина направляющей.

Исходная точка начала укладки первого стержня слоя рассчитывается по формуле (4) подстановкой  $i=1$ . Последующие перемещения каретки удобно задавать в приращениях:

$$\begin{aligned} \Delta y_i &= h_y; \\ \Delta x_i &= x_i - x_{i-1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Перемещение осуществляется последовательно по двум координатам. Сначала выполняют отвод от каркаса по координате  $x$  на величину на 5 мм больше  $\Delta x_i$  для преодоления соударений с каркасом, затем перемещение на  $\Delta y_i$  и снова подвод. По аналогии с металлорежущими станками его можно задавать двумя приводами или одним приводом и копиром. Первый вариант

более универсален, так как не требует изготовления нового копира при изменении типоразмера каркаса.

Длина стержня изменяется от ячейки к ячейке. Длину  $i$ -го стержня определим по зависимости:

$$\begin{cases} \text{если } y_i > d \text{ то } l_i = x_i + \sqrt{0.25D^2 - y_i^2} \\ \text{если } y_i \leq d \text{ то } l_i = x_i - \sqrt{0.25d^2 - y_i^2} \end{cases} \quad (6)$$

После подачи стержня выполняется его обрезка, стержень необходимо обрезать максимально близко у АК, не повреждая его структуру. И отрезное устройство не должно быть шире  $b$ .

По окончании укладки слоя отводится ПУ и уложенный слой стержней опрессовку подъемом нижней плиты на высоту  $H-hz$  при зафиксированной верхней плите. Величина опрессовки определяется исходя из заданного шага  $hz$  укладки горизонтальных слоев. После выполнения опрессовки нижняя плита с уложенными слоями стержней опускается на  $H$  для образования необходимого просвета. Каркас поворачивается на угол  $\alpha = 360/2n$  для укладки следующего слоя стержней. Процесс повторяется до набора необходимой высоты каркаса.

Кинематическая схема установки УСГС представлена рис 3. Продольное перемещение осуществляется механизмом перемещения суппорта, нулевое положение суппорта определяется выключателем концевым (ВК) ВК1. На суппорте размещен механизм поперечного перемещения каретки и датчик нулевого положения каретки ВК2. В состав каретки входит механизм подачи стержня, датчик контроля окончания стержня и механизм обрезки. Позиционирование каретки осуществляется двигателями М1 и М2, подача стержня на заданную глубину двигателем М3. Подъем стола и создание усилия опрессовки выполняет двигатель М6. Величина перемещения задается двигателем М4 и контролируется ВК4-ВК6. Вращение стола задается двигателем М5 и контролируется ВК3. Необходимое положение фиксируется. Для повышения крутящего момента от двигателя могут устанавливаться редуктора (Р).

Механизмы продольного и поперечного перемещения не испытывают технологической нагрузки, а только силы трения в направляющих и преодоление сил инерции. К этим приводам предъявляются высокие требования по позиционированию ПУ и не накоплению погрешности перемещения. Механизм подачи стержня должен преодолевать усилие подачи стержня в каркас с учетом его длины. Усилие подачи стержня зависит от максимальной глубины его проникновения в каркас, вида сопряжения подаваемого стержня с вертикальными (величина натяга или зазор) и собираемой структуры. Эти данные могут быть определены экспериментально или теоретически. Механизм установки АК по высоте перемещает только блок концевых выключателей с заданной точностью.

Силовыми являются механизмы поворота и подъема АК. Механизм поворота преодолевает силы трения направляющей гребенки и ограничителей перемещения и силы инерции. Механизм вертикального перемещения стола создает значительное усилие опрессовки, которое зависит от площади основания каркаса, вида сопряжения стержней и собираемой структуры. Эти параметры могут быть определены также экспериментально или теоретически.

Исходя из вышесказанного рекомендуется в качестве двигателей М1-М4 использовать шаговые двигатели, перемещение обеспечить передачей винт-гайка, а повысить крутящий момент на роликах подачи стержня посредством цилиндрической передачи. В силовых приводах в качестве двигателей М5-М6 использовать асинхронные двигатели с червячной передачей.

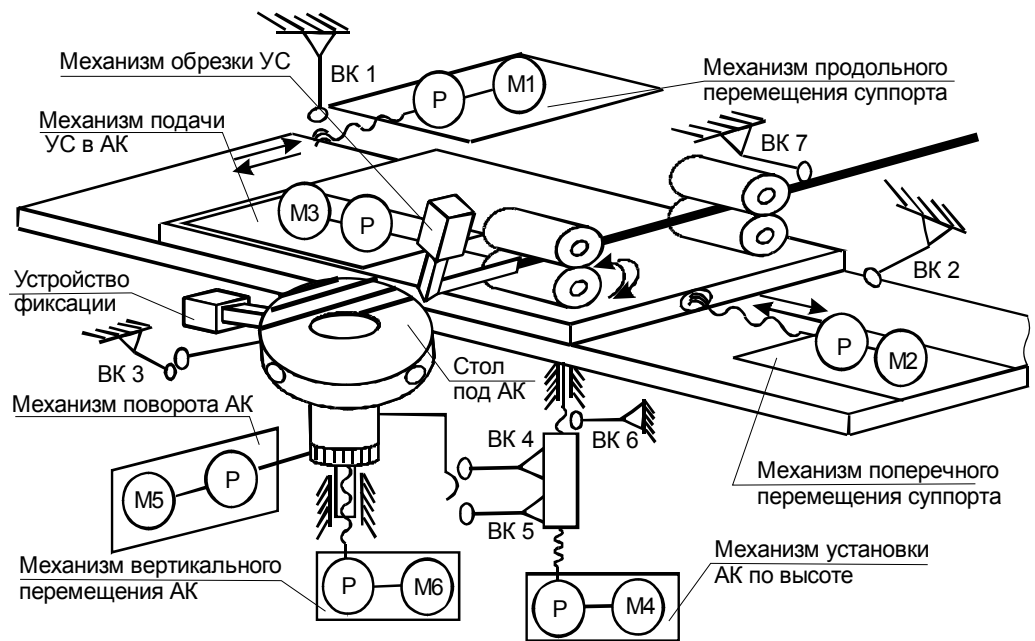


Рис. 3. Кинематическая схема УСГС

**Выводы.** Разработана блок-схема и кинематическая схема установки автоматизированной укладки слоев горизонтальных стержней для сборки стержневых армирующих каркасов, описан принцип работы узлов установки и определены функциональные требования к ним. Определена необходимость проведения экспериментально-теоретических исследований усилий опрессовки и сопротивления вталкиванию стержня в каркас.

#### Литература

1. Чесноков А.В. Чесноков В.В. Повышение производительности сборки армирующих каркасов для углерод-углеродного композиционного материала // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. №7(113) Частина 1. Науковий журнал. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Далія, 2007. – С. 169-174
2. Чесноков А.В. Изготовление стержневых армирующих каркасов для углерод-углеродных композиционных материалов на основе «бесконечного» стержня // Проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. Збірн. наукових прац. Вип.1 (52), Харків, 2008. - С. 51-54

УДК 614.845

М.А.Касьянов, Д.В.Михайлов

#### АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ У ОБ'ЄМАХ, ЩО ВЕНТИЛЮЮТЬСЯ

Наведено аналіз факторів, що характеризують особливості температурних полів при розвитку пожеж у напіввідкритих об'ємах, і які необхідно враховувати при розробці комп'ютерних моделей. Дж. 17.

**Аналіз стану питання.** Щодня в Україні в середньому виникає 159 пожеж, економічні втрати від яких становлять 676 тис. грн, гине 7 і травмується 4 людини [1]. Пожежі призводять до загибелі людей у результаті їхнього отруєння димом, що містить високотоксичні продукти термічного розпаду горючих речовин і продуктів неповного згоряння, а також впливу високої температури пожежі, високого рівня теплового випромінювання полум'я [2]. Сьогодні пожежі трапляються-

ся у будинках, (в яких використовується у великій кількості побутова техніка, комп'ютери, меблі), у складах і архівах, у приміщеннях з вибухонебезпечним середовищем. Найбільша кількість пожеж відбувається у житлових будинках часто через відсутність систем пожежогасіння або за наявності застарілого обладнання. Істотно зашкодити може не тільки сама пожежа, але і пожежні засоби та рідини, що застосовуються для її гасіння, приміром вода. Щоб вирішити проблему надійності пожежогасіння і зменшити загрозу при його здійсненні шкоду, необхідно розробити нові підходи до вдосконалення пожежної безпеки об'єктів різного призначення. Основними способами набуття знань про характер розвитку пожежі і поширення диму донедавна були методи лабораторного експерименту та аналіз наслідків пожеж [3]. Поява потужних обчислювальних систем, а також значний прогрес у розумінні фізики і хімії пожежі уможливили створення комп'ютерних програм, що дозволяють із достатньою для практики точністю відтворювати динаміку розвитку пожежі та поширення диму у приміщеннях.

Сучасні комп'ютерні моделі пожеж поки не в змозі одночасно аналізувати такі важливі деталі, що визначають поведінку пожежі, як температура навколишнього середовища, напрям і силу вітру поблизу об'єкта, вертикальну стійкість повітря, параметри вентиляційних потоків усередині приміщення, характер і схему розміщення пожежного навантаження, тип і розміщення засобів пожежогасіння. Сьогодні при створенні ефективної моделі пожежі необхідно використовувати так звані "тандемні" моделі, які дозволяють комбінувати комплекс знань про об'єкт із даними про умови розвитку пожежі.

Розвиток пожежі являє собою складний комплекс фізико-хімічних процесів, точне прогнозування яких неможливе. При їхньому моделюванні необхідні знання характеристик пожежі у повному обсязі, взаємозалежність декількох процесів і граничні умови при дослідженні конкретних палаючих об'єктів.

У роботі [4] досліджено вплив об'ємно-планувальних характеристик, параметрів пожежного навантаження і газообміну на тривалість розвитку пожежі, швидкість вигорання горючого матеріалу та поширення полум'я в приміщеннях невеликого об'єму. Наявні відомості [5...7] про динаміку пожеж у приміщенні є недостатньо повними. Наприклад, при розгляді конвективної колонки у приміщенні з відкритим прорізком [8] у прийнятих моделях не враховується той факт, що в умовах реальної пожежі вона має геометрію, що вигинається через вплив на полум'я потоків повітря, що надходять у зону горіння з боку вентиляційного прорізу, і переміщення нагрітих газів. Результати [9] експериментальних досліджень процесу розвитку пожежі показали, що на динаміку розвитку пожежі у приміщенні з відкритими прорізами істотний вплив роблять, зокрема, умови газообміну, вид і спосіб розміщення пожежного навантаження. Відомості про параметри процесів, у свою чергу, дозволяють оптимізувати процес проектування і розрахунку засобів пожежогасіння для конкретного об'єкта, що цілком співпадає з ідеями, висунутими раніше у [10]. Для забезпечення високої ефективності стаціонарних і переносних засобів пожежогасіння у приміщеннях, зокрема на стадії повністю розвинутої пожежі, згідно з [11] необхідно проаналізувати значну кількість можливих ситуацій, що розрізняються як параметрами приміщень і зазначеними засобами, так і кількістю і властивостями матеріалів пожежного навантаження.

**Постановка завдання.** Метою досліджень, що проводяться на кафедрі "Охорона праці та БЖД" ВНУ ім. В. Даля, є створення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішення, що дозволяє за наявними характеристиками приміщення (об'ємно-планувальними особливостями об'єкта пожежі, кількістю і особливостями розміщення пожежного навантаження, наявності вентиляційних потоків, зовнішніх метеоумов, можливих джерел загоряння) генерувати можливі сценарії розвитку пожежі у приміщенні з наступною видачею рішення за типом та розміщенням автоматичних сповіщувачів і систем пожежогасіння.

**Матеріали і результати досліджень.** Обстановку на об'єкті до виникнення пожежі характеризують такі чинники:

- пожежно-технічна характеристика об'єкта: об'ємно-планувальні рішення; пожежна безпека технологічних процесів; водопостачання; забезпечення первинними засобами пожежогасіння; системами автоматичного виявлення та гасіння пожеж;
- види і розподіл пожежного навантаження: склад; стан; вологість; дисперсність; показники пожежної безпеки; відстань до потенційних джерел запалювання;
- вид і розподіл речовин, виробів та обладнання, які характеризуються підвищеною небезпекою, показники їх пожежної безпеки;
- позаштатне пожежне навантаження;

- види і розташування потенційних джерел запалювання;
- умови газообміну: наявність віконних, дверних та інших прорізів, їх місцезнаходження, характеристика систем вентиляції і т.ін.;
- можливі шляхи розповсюдження пожежі: технологічні прорізи; системи вентиляції; конструктивні особливості;
- стан та розташування конструктивних елементів, що перешкоджають виникненню і розповсюдженню пожежі;
- пожежна небезпека робіт, що виконувались перед виникненням пожежі;
- потенційні позаштатні джерела запалювання;
- фактична діяльність людей до пожежі;
- відхилення у роботі обладнання, електромереж, систем та приладів опалення і т.ін.

Обстановка на об'єкті під час пожежі визначається:

- тепловим впливом зон горіння;
- місцями найбільш інтенсивного горіння та димовиділення;
- спрямованістю розвитку горіння та його шляхами;
- часом руйнування конструкцій;
- станом та ефективністю застосування первинних засобів пожежогасіння, автоматичних установок виявлення та гасіння пожеж, систем димовидалення;
- часом, необхідним, щоб відімкнути дверні замки, пошкодження засклення вікон (під впливом надлишкового тиску продуктів горіння чи їх високої температури);
- місцями первинного виникнення горіння, задимлення;
- фактами відключення електро- і газових мереж, зміни у часі пожежного навантаження, заміни елементів конструкцій, обладнання;
- поведінкою людей на об'єкті;
- метеоумовами;
- видом вогнегасних засобів, послідовністю і місцем їх застосування.

Характер і масштаби горіння під час пожеж відрізняються залежно від агрегатного стану горючих матеріалів, особливостей розміщення пожежного навантаження, об'ємно-планувальних особливостей об'єкта пожежі, метеорологічних умов. Ці фактори визначають особливості газового обміну і димоутворення, температурний режим та види теплообміну.

Особливості гетерогенного характеру горіння обумовлені дрібнодисперсною, волокнистою, пористою або ніздрюватою структурою, що забезпечує доступ кисню у значну товщу матеріалу. У зв'язку з цим поверхнєве горіння та тління відбувається не лише зовні, але і всередині матеріалів з утворенням каверн та прогарів. Для підкласу А1 (вугілля, бавовна, деревина, текстильні матеріали, папір, та ін.) характерне самозаймання (теплове, хімічне, мікробіологічне) за певних умов. Максимальна температура тління досягає 250 °С, горіння – близько 800 °С.

Горіння речовин та матеріалів підкласу А2 – гомогенне (дифузійне у турбулентному режимі) характерне для більшості пожеж. Особливості гомогенного характеру горіння обумовлені тим, що пальне та окислювач знаходяться у газовій (паровій) фазі, причому виділення легких фракцій у твердих матеріалах починається за початковою температурою не нижче 150-200 °С. Суміш горючих газів з повітрям створюється при нагріванні матеріалів понад 250-330 °С. Поширення горіння відбувається у міру нагрівання поверхні матеріалів теплом випромінювання від полум'я. Максимальна температура полум'я досягає 850-1050 °С.

При горінні речовин та матеріалів підкласу В1, що є гомогенним (дифузійне у турбулентному режимі), горюча пара, яка надходить з поверхні рідини або твердої речовини, що плавиться, змішується до спалахування з оточуючим газовим середовищем. Під час спалахування пароповітряної суміші виникає факел полум'я, який суттєво змінює співвідношення газових та теплових потоків над дзеркалом поверхні горіння. Газовий обмін, що утворюється, сприяє інтенсифікації припливу кисню повітря до зони горіння, за рахунок якого відбувається розбавлення горючих парів, та видаленню високотемпературних продуктів горіння з верхньої частини зони горіння. Потік променевої теплової енергії від факела полум'я, впливаючи на дзеркало поверхні горіння, сприяє нагріванню поверхневого шару та інтенсифікує процес випаровування горючої рідини. Збільшення розмірів факела полум'я та променистого потоку у свою чергу призводить також до зростання інтенсивності конвективного газового потоку навколо факела полум'я, який стискається з усіх сторін та набуває форми конуса, що поступово збільшується в розмірах. З часом встановлюється тур-

булентний режим горіння, а зростання розмірів факела полум'я спостерігається до моменту встановлення теплової та газодинамічної рівноваги. Максимальна температура полум'я 1200-1350 °С.

Для горіння рідин підкласу В2, що є гомогенним (дифузійне у турбулентному режимі), характерне розташування зони горіння над площею розлиття або над площею ємності з легкозаймистою речовиною чи горючою речовиною. Газоподібний окислювач вільно надходить до зони горіння, на межі якої зміщується з паром пального. Температура полум'я становить 1200-1350 °С.

Горіння газоподібних речовин класу С – гомогенне (кінетичне або дифузійне у турбулентному режимі) і виникає за наявності джерела запалювання, факел полум'я має практично постійні розміри. Конвективні газові потоки гарячих продуктів горіння, що виникають, створюють інтенсивний приплив повітря до факела. Максимальна температура більшості горючих газів досягає 1350-1500 °С.

Горіння металів та металовмісних сполук, що належать до підкласів класу D, – гетерогенне (у кінетичному режимі). Зона горіння розташована на поверхні у тонкому шарі, до якого надходять молекули газоподібного окислювача. Температура горіння досягає 3000 °С.

На особливості розвитку пожеж суттєво впливає спосіб розподілення пожежного навантаження. Розрізняють приміщення великих об'ємів із зосередженим пожежним навантаженням на одній або декількох ділянках площі. У цьому випадку горіння відбувається лише на відокремлених ділянках без утворення загальної зони газифікації та вигорання матеріалів; щільність розподілення елементів горючих, важкогорючих матеріалів є безрозмірним фізичним параметром, який виражається залежністю:

$$K_{\rho} = m_0 / (\rho_0 H_{\text{ш}} \sum S_{\text{пн}}),$$

де  $K_{\rho}$  – щільність розподілення елементів горючих та важкогорючих матеріалів по висоті шару та площі окремих ділянок приміщення, в яких зосереджене навантаження;  $m_0$  – маса горючих та важкогорючих матеріалів, яка розподілена по всій площі приміщення або окремих його ділянках, кг;  $\rho_0$  – середня густина матеріалів, що входять до складу пожежного навантаження, кг-м<sup>3</sup>;  $H_{\text{ш}}$  – середня висота шару, в якому розподілені горючі та важкогорючі матеріали, м;  $\sum S_{\text{пн}}$  – сумарна площа ділянок, на яких розподілені горючі та важкогорючі матеріали, м<sup>2</sup>.

Приміщення з розосередженим пожежним навантаженням характеризуються тим, що навантаження займає більшу частину площі.

Під час горіння утворюється загальна зона газифікації та вигорання матеріалів. Щільність розподілення елементів горючих матеріалів виражається залежністю:

$$K_{\rho_{\text{в}}} = m_0 / (\rho_0 H_{\text{ш}} \sum S_{\text{п}}).$$

де  $K_{\rho_{\text{в}}}$  – щільність розподілення елементів горючих та важкогорючих матеріалів по висоті шару та площі приміщення;  $S_{\text{п}}$  – площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup>.

Характер речовин і матеріалів та спосіб розподілення пожежного навантаження впливають на енергетику та особливості газового обміну на пожежах, але цими факторами картина пожежі не визначається повною мірою. Суттєве значення мають об'ємно-планувальні особливості об'єкта пожежі, наявність огорожувальних конструкцій, а також характер газового та теплового обміну, які визначаються рядом умов та обставин, що супроводжують пожежу.

Пожежі у приміщеннях залежно від об'ємно-планувальних особливостей та наявності отворів характеризуються вільним, розвиненим або обмеженим газообміном. Теплообмін відбувається конвекцією, випромінюванням або теплопередачею.

Відкриті пожежі підгрупи 2а характеризуються вільним газообміном у приміщеннях висотою до 6 м, при цьому теплообмін здійснюється більшою мірою за рахунок теплопередачі та випромінювання. Пожежі розвиваються при повністю або частково відкритих отворах, у бік яких інтенсивно поширюється горіння. У приміщенні, де виникла пожежа, швидко зростає температура, створюються умови для займання пожежного навантаження, охоплення його полум'ям та переростання горіння з поверхневого в об'ємне. Через віконні прорізи відбувається поширення пожежі назовні, а в окремих випадках – на сусідні будівлі. Можливе виникнення горіння у суміжних та розташованих вище приміщеннях, інколи навіть під приміщенням пожежі.

У приміщеннях висотою понад 6 м пожежі характеризуються розвиненим газообміном. Теплообмін більшою мірою визначається конвекцією та випромінюванням. За рахунок більших перепадів тиску по висоті між центрами припливних та витяжних отворів газові потоки переміщуються з більшими швидкостями, через що вигорання пожежного навантаження відбувається більш інтенсивно. Конвективна складова теплообміну на цих пожежах найбільш виявлена.

Інтенсивність теплового випромінювання визначається розмірами площі пожежі і висотою зони горіння. Чим ближче до джерела тепла, тим більший вплив температури на матеріали, конструкції і обладнання, а відповідно і ступінь їх пошкоджень. В умовах пожежі конструкції можуть зазнавати впливу полум'я або продуктів горіння, нагрітих до високих температур з одного, двох, трьох або чотирьох боків. Залежно від характеру горіння і розташування осередку пожежі конструкції можуть нагріватися як по всій поверхні, так і на окремих ділянках.

Закриті пожежі підгрупи 2б відбуваються в умовах повністю закритих прорізів в огороженнях. Має місце газообмін за рахунок інфільтрації повітря та газів, які вилучаються із зони горіння через нещільності в огороженнях, прорізах дверей, віконних рам, при наявності діючих систем існуючої витяжної вентиляції без організованого припливу повітря, а також відсутності систем витяжної вентиляції. Особливості газообміну визначають характер теплообміну, який здійснюється шляхом випромінювання та теплопередачі. Швидкість вигорання пожежного навантаження залежить від втрат повітря через нещільності. Коли пожежа виникла за сприятливих для доступу повітря умов, але незначного малокалорійного джерела і на матеріалі, для горіння якого необхідне більш потужне джерело, відсутність активного горіння матеріалу в цьому випадку може погіршити умови газообміну в наступний період внаслідок заповнення об'єму приміщення продуктами горіння, що буде перешкоджати поширенню вогню і сприятиме утворенню значних місцевих руйнувань в осередку пожежі. Оскільки кожній групі або підгрупі пожеж відповідає свій характерний газообмін, то особливості їхнього розвитку та ушкодження огорожувальних конструкцій і матеріалів відрізняються.

Сукупність таких факторів, як об'ємно-планувальні особливості об'єкта пожежі, пожежне навантаження, умови та особливості газового і теплового обміну визначають температурний режим пожежі і відповідно впливають на ступінь ушкодження матеріалів і конструкцій.

У зоні горіння відбуваються процеси термічного розкладу або випаровування горючих речовин та матеріалів у об'ємі дифузійного факела полум'я. Ця зона може обмежуватися огороженою будівлею (споруди), стінками технологічних установок, апаратів, резервуарів. Зона горіння розвивається за рахунок зони теплового впливу, у якій формуються умови для подальшого поширення пожежі.

Зона теплового впливу межує із зоною горіння. У цій частині простору відбуваються процеси теплообміну між поверхнею полум'я і матеріалами, що знаходяться поблизу зони горіння. Передавання тепла у навколишнє середовище здійснюється трьома способами: конвекцією, випромінюванням і теплопровідністю. Залежно від умов, за яких відбувається горіння, переважатиме теплообмін за рахунок однієї або двох цих складових. На розміри зони суттєво впливають умови газообміну та характер пожежного навантаження. Якщо у цій зоні зосереджені горючі матеріали, то ймовірність їх займання та подальшого розвитку пожежі різко зростає, особливо у напрямку, де знаходяться горючі речовини, що мають нижчі температури самозаймання.

Зона задимлення межує із зоною горіння і заповнена димовими газами у таких концентраціях, що створюють загрозу для життя та здоров'я людей або ускладнюють дії пожежних підрозділів. Зона задимлення включає зону теплового впливу і за розмірами перевищує її. Характерні особливості зони задимлення залежать від багатьох факторів, але найбільше – від особливостей газового обміну. У зоні задимлення відбувається рух димових продуктів та зміна їх складу. Рух диму під час пожежі нерівномірний, вихороподібний і залежить від розмірів та температурного режиму зони горіння.

Одним із найнадійніших засобів для пожежного захисту об'єктів є системи автоматичного пожежогасіння, які на відміну від систем з ручним пуском і керованих оператором, приводяться в дію пожежною автоматикою за об'єктивними показниками і забезпечують оперативне гасіння вогнища загоряння без участі людини. Порядок і необхідність установки автоматичного пожежогасіння регламентується нормативними документами [12, 13]. Обов'язково системами автоматичного пожежогасіння обладнуються серверні кімнати, архіви та інші приміщення для зберігання і обробки інформації, автостоянки закритого типу (підземні і надземні при 2-х поверхах і вище), а та-

кож складські приміщення, торговельні зали, ремонтні майстерні та інші виробничі і невиробничі приміщення, залежно від займаної ними площі і характеру матеріалів, що зберігаються.

Якщо існує потреба оснащення об'єкта системою автоматичного пожежогасіння, необхідно зробити вибір конкретної автоматичної установки пожежогасіння (водяного, газового, порошкового пожежогасіння і т.д.) залежно від характеристик і призначення приміщення, схеми її розміщення і фірми-інсталювача. При цьому необхідно володіти відомостями про характеристики установок автоматичного пожежогасіння, їхні достоїнства, недоліки і обмеження до застосування на тих або інших об'єктах.

Серед причин виникнення відмов і неефективної роботи систем пожежної автоматики фахівцями відзначаються:

- помилки при проектуванні автоматичних систем пожежної сигналізації і пожежогасіння;
- недостатньо висока якість робіт, виконуваних підприємствами, що здійснюють виробництво і поставку компонентів систем автоматичної пожежної сигналізації, пожежогасіння та вогнегасних речовин, і організаціями, що проводять монтажні, пусконаладжувальні роботи та технічне обслуговування.

Для успішного ухвалення рішення в будь-якій галузі людської діяльності, у тому числі і в галузі пожежної безпеки, обов'язковим є виконання чотирьох умов. Необхідно знати об'єкт дослідження. Ступінь пізнання об'єкта буде багато в чому визначати успіх ухвалення рішення, а при цьому об'єктом дослідження є пожежа як фізичне явище. Необхідно чітко уявляти мету, яка ставиться при прийнятті рішення, і критерії, за якими оцінюється її якість. І останньою умовою ухвалення правильного рішення є чітке зазначення тих обмежень, які можуть виникнути при прийнятті рішення.

На перший план при здійсненні пожежної безпеки приміщень виходить надзвичайно важливе прикладне завдання оптимального проектування і застосування автоматичних систем пожежогасіння, що включає:

- прогнозування поширення небезпечних факторів пожежі у приміщенні з урахуванням геометрії приміщення, кількості пожежного навантаження і наявності вентиляційних потоків;
- вибір пожежних сповіщувачів та їхнє оптимальне розміщення в об'ємі приміщення з урахуванням прогнозу;
- вибір виду і типу систем автоматичного пожежогасіння і їхнього оптимального розміщення в об'ємі приміщення з урахуванням виконаного прогнозу.

Для приміщень, що вентиліюються, на відміну від тих, у яких є вентиляція [8], ще не розроблено математичних моделей зміни температурних полів, які можна було б покласти у основу комп'ютерних програм, які були б основними при здійсненні проектних робіт, тому що вказували б на зміну величин температур у часі та характер розподілення визначених температурних зон для моделювання виникнення і розвитку пожежі та розробці проекту захисту від неї.

Звичайно при цьому необхідно враховувати і можливості, і характеристики установок пожежогасіння, наприклад інерційність включення їх у дію, швидкість подачі вогнегасної речовини, характер її розпилю і т. ін. [10].

Для досягнення поставленої мети і одержання основних результатів роботи використовувалися аналітичний та експериментальний методи дослідження [9, 10], які базуються на теорії горіння, математичній фізиці, гідро- і газодинаміці, математичному і фізичному моделюванні процесів поширення небезпечних факторів пожежі в приміщеннях, теорії створення експертних систем, методи системного аналізу.

При цьому були вирішені такі завдання досліджень:

- виконано аналіз пожежної безпеки виробничих і невиробничих приміщень, математичних моделей, що існують, комп'ютерних програм моделювання динаміки поширення небезпечних факторів пожежі у приміщенні [14];
- створено експериментальну установку і розроблено методику дослідження основних параметрів динаміки розвитку пожежі в приміщенні [9];
- аналітично і експериментально досліджено фізико-хімічні процеси і явища тепло-масопереносу при пожежі у приміщенні;

- досліджено вплив ряду факторів (параметрів вентиляційних потоків, швидкості і напрямку вітрового потоку за прорізами приміщення, видаткові коефіцієнти прорізів, різниця барометричних тисків усередині і зовні приміщення, ступінь перемішування газів в об'ємі), які визначають особливості виникнення і розвитку пожежі [15];
- проведено теоретичні дослідження і розроблено математичну модель розвитку пожежі у приміщенні при наявності вентиляційних потоків [16];
- виявлено вплив типу і схеми розміщення пристроїв автоматичного пожежогасіння, пожежних сповіщувачів і вентиляційних потоків усередині приміщення на ефективність застосування цих пристроїв при виникненні пожежі у закритих і напівзакритих приміщеннях [17].

При моделюванні застосовувався метод, що використовує чисельне розв'язання рівнянь збереження маси і рівнянь переносу для різних фізичних параметрів, що дозволяє одержувати розподіл у часі і просторі таких величин, як швидкість, температура, теплові потоки і т. ін. Створена модель пожежі, заснована на законах збереження маси, імпульсу і енергії, а також на експериментальних даних, дозволяє враховувати той факт, що в умовах реальної пожежі конвективна колонка у приміщенні з відкритим прорізом має геометрію, що вигинається, через вплив на полум'я потоків повітря, що надходять у зону горіння з боку прорізу, і переміщення нагрітих газів. Вона також описує поширення полум'я по поверхні навантаження і наступне його загасання. Враховується динаміка зміни маси основних компонентів газової суміші в об'ємі приміщення (кисню, інертних газів, продуктів згоряння). У системі підтримки прийняття рішень передбачена можливість врахування різних матеріалів для стін приміщення, теплофізичних властивостей вікон, радіаційного теплообміну до розкриття віконного прорізу у процесі розвитку пожежі (тобто той факт, коли при досягненні поверхнею вікна температури 500 °С скло лопається і виникає більш інтенсивний тепло- і масообмін з навколишнім середовищем).

**Висновки.** Отримані у процесі досліджень результати з розробки комп'ютерної моделі пожежі для приміщень з наявністю вентиляційних потоків можуть стати основою рекомендацій з оптимізації способів і засобів автоматичної пожежної безпеки у процесі проектування і здійснення протипожежного захисту конкретних об'єктів. Вони дозволять обґрунтовувати застосування тих або інших рішень при розробці таких систем для приміщень, розробляти нові програмні продукти в галузі пожежогасіння різних об'єктів.

#### Література

1. Пожежна безпека на залізничному транспорті: навчальний посібник / В.А. Доманський, Д.В. Зеркалов, С.Ю. Потетюєв, Є.А. Лінчевський, М.В. Дорошенко. – К.: Основа, 2004. – 392 с.
2. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1990. – 421 с.
3. Дослідження пожеж: довідково-метод. посібник. – К.: Пожінформтехніка, 1999. – 224 с.
4. Девлишев П.П., Мотин М.А. Исследование динамики пожара в помещениях // Огнестойк. строит. конструкций и обеспеч. пожар. безопасн. людей и матер. ценностей. – М., 1989. – С. 183 – 190.
5. Моргунов К.П., Моргунова Т.Ю. Численный расчет полей скоростей и температур воздуха в помещении при пожаре // Стр-во и архит. – М., 1989. – № 3. – С. 92 – 95.
6. Гутов В.Н. Зонная математическая модель развитой стадии пожара // Безопасн. людей при пожарах в зданиях и сооруж. – М., 1987. – С. 62 – 69.
7. Бородкин А.Н., Корольченко А.Я., Молчадский И.С., Тягунов М.И. Интенсивность тепловыделения в условиях реальных пожаров // Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений: Сб. науч. тр. ВНИИПО. – М., 1988. – С. 9 – 13.
8. Рыжов А.М. Трехмерное (CFD) моделирование пожаров с учетом процессов горения и излучения: некоторые проблемы и пути решения // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2000. – №1. – С. 38 – 49.
9. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Экспериментальное исследование пожара в помещении // Вісник СХУ ім. В. Даля, №12 (82). – 2004. – С. 99 – 104.
10. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Исследование плотности распыления порошка и плотности орошения жидкости по сечению струи при их транспортировании импульсным пламеподавителем // Вісник СХУ ім. В. Даля, №9 (55). – 2002. – С. 217 – 224.

11. Сукава О., Ока Я., Хотга Х. Эксперименты по имитации пожара // Fire. – 1989. – 39, № 1. – С. 1 – 8.
12. РД 5.5005-80 (НАПБ В.01.015-80/140) Система водяного пожаротушения. Правила и нормы проектирования.
13. РД 5.5481-80 (НАПБ В.01.016-80/140) Система пенного пожаротушения. Правила и нормы проектирования.
14. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Моделирование пожаров // 36. наук. праць СНУ ім. В. Даля. – Луганск, 2002. – Ч. 2. – С. 51.
15. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Компьютерное моделирование динамики опасных факторов пожара // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2003. – №8 (66). – С. 99 – 103.
16. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Математическое моделирование развития пожара в помещении // Вісник СумДУ. – 2004. – № 2 (61). – С. 213 – 216.
17. Михайлов Д.В. Компьютерное моделирование пожара как средство совершенствования пожарной безопасности различных объектов // Вісник СНУ ім. В. Даля. – В 2 ч. – 2006. – № 6 (100). – Ч. 2. – С. 104 – 109.

**УДК.621.867**

**М.О.Пронін, В.С.Заїка**

### **УМОВА РУХУ ВАНТАЖІВ ГРАВІТАЦІЙНИМИ КОНВЕЄРАМИ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ**

Шляхом динамічного аналізу встановлено умову руху вантажів гравітаційними конвеєрами на повітряній подушці. Рис. 1, дж. 2.

Переміщення вантажів в межах промислового району або підприємства, що здійснюється промисловим транспортом, вимагає значних витрат енергії, а це суттєво позначається на собівартості кінцевого продукту. Отже, одним із основних шляхів підвищення ефективності виробництва є удосконалення засобів промислового транспорту з метою зменшення споживання ними енергетичних ресурсів.

Значна частина перевезень як в межах підприємства, так і на зовнішніх комунікаціях здійснюється конвеєрами. Оскільки енергія при транспортуванні витрачається переважно на подолання опору руху, ефективними з точки зору енергоспоживання є конвеєри з безконтактним переміщенням вантажів, наприклад, гравітаційні конвеєри на повітряній подушці.

Гравітаційні конвеєри на повітряній подушці (рис. 1) складаються із ресивера 1 і соплового пристрою 2, установлених з невеликим нахилом в бік транспортування. Сопловий пристрій 2 являє собою плиту з дискретними, рівномірно розподіленими по площі вертикальними каналами 3 циліндричної або щілиноподібної форми. Функцію вантажонесучого елемента виконує або безпосередньо опорна поверхня вантажу, що переміщується, або спеціальний піддон 4. Інколи в тілі піддона має місце пазуха 5, наявність якої створює більш сприятливі умови для виникнення повітряної подушки. Для попередження відхилення вантажу, що транспортується, від заданої траєкторії конвеєр оснащують спрямовуючими бортами 6.

Принцип дії гравітаційних конвеєрів на повітряній подушці полягає в такому. Повітря, що надходить до ресивера від повітродувної машини або магістрального повітропроводу, рівномірно розподіляється між каналами, звідки витікає у виді струменів. Після взаємодії з вантажонесучим елементом повітря розтікається в периферійному напрямку, згортається у вихри і виходить з-під вантажу через щілину, утворену зовнішньою бровкою вантажонесучого елемента і сопловим пристроєм. В робочому просторі, обмеженому нижньою поверхнею вантажу або піддона і поверхнею соплового пристрою, виникає область підвищеного тиску - повітряна подушка. Цей тиск разом з динамічною дією струменів і реактивною дією потоків відпрацьованого повітря призводить до виникнення підйомної сили, що підтримує вантажонесучий елемент. Переміщення вантажів конвеєром здійснюється завдяки їхній власній вазі.

Крім низького коефіцієнта опору руху гравітаційні конвеєри на повітряній подушці у порівнянні зі звичайними конвеєрами мають певні переваги, як-то: простота конструкції та обслуговування, надійність, безшумність, безпека експлуатації у вибухонебезпечному середовищі, можливість поєднання процесів переміщення і теплової обробки вантажів. Проте широке впровадження цих конвеєрів на виробництві стримується недостатнім вивченням їхньої роботи, зокрема, динаміки процесу переміщення вантажів, дослідженню якої і присвячується ця стаття, що має за мету встановлення умови руху вантажів гравітаційними конвеєрами на повітряній подушці.

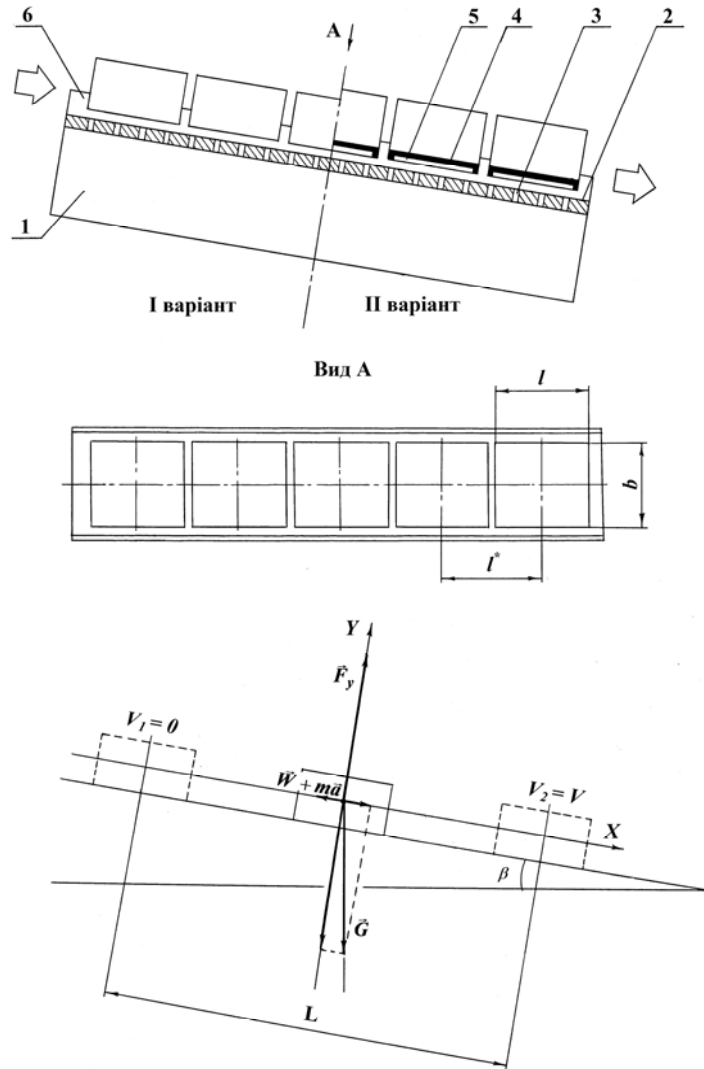


Рис. 1. Гравітаційний конвеєр на повітряній подушці:  
 1 - ресивер; 2 - сопловий пристрій;  
 3 - канал; 4 - піддон; 5 - пазуха; 6 - спрямовуючий борт

Для вантажу масою  $m$ , що рухається гравітаційним конвеєром на повітряній подушці (рис. 1), другий закон Ньютона має вид :

$$m\vec{a} = \vec{F}_y + \vec{G} + \vec{W}, \quad (1)$$

де  $\bar{a}$  - прискорення вантажу;  $\bar{F}_y$  - підйомна сила;  $\bar{G}$  - вага вантажу;  $\bar{W}$  - сила опору руху вантажу.

Проектуючи це рівняння на вісь  $X$ , спрямовану вздовж траєкторії руху вантажу, маємо

$$ma = G \sin \beta - W$$

або

$$\frac{G}{g} a = G \sin \beta - wG \cos \beta,$$

звідки

$$w = \operatorname{tg} \beta - \frac{a}{g \cos \beta}, \quad (2)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння;  $W$  - коефіцієнт опору руху вантажу.

Вважаючи рух вантажу рівноприскореним, а також враховуючи, що початкова швидкість вантажу дорівнює нулю, будемо мати

$$a = \frac{2L}{t^2},$$

де  $L$  - довжина конвеєра;  $t$  - час руху вантажу конвеєром.

Час руху вантажу конвеєром можна визначити за формулою :

$$t = \frac{L}{V_{\text{cp}}},$$

тоді

$$a = \frac{2V_{\text{cp}}^2}{L}.$$

Відповідно до [1], для конвеєрів, що транспортують штучні вантажі суцільним потоком, тобто з незначними інтервалами,

$$V_{\text{cp}} = \frac{zI}{3600},$$

де  $Z$  - погодинна продуктивність конвеєра;  $I$  - довжина вантажу.

З огляду на це, прискорення вантажу, що рухається конвеєром, становитиме

$$a = \frac{z^2 I^2}{6,48 \cdot 10^6 L}. \quad (3)$$

Згідно з [2],

$$w = 0,3e^{-6\frac{h}{\Delta}} + 0,0008, \quad (4)$$

де  $h$  - величина повітряного зазору між опорною поверхнею вантажу і поверхнею соплового пристрою;  $\Delta$  - висота нерівностей поверхні соплового пристрою.

Підставивши вирази (3) і (4) у співвідношення (2) і розв'язавши одержане рівняння відносно  $h$ , знайдемо:

$$h = \frac{\Delta}{6} \ln \frac{0,3}{\operatorname{tg} \beta - 0,0008 - \frac{z^2 I^2}{6,36 \cdot 10^7 L \cos \beta}}. \quad (5)$$

Формула (5) є умовою руху вантажів гравітаційними конвеєрами на повітряній подушці.

Висновки. 1. Розглянуто питання щодо конструкції та принципу дії гравітаційних конвеєрів на повітряній подушці.

2. Встановлено умову руху вантажів гравітаційними конвеєрами на повітряній подушці, що дає змогу визначити величину повітряного зазору між опорною поверхнею вантажу та поверхнею соплового пристрою, необхідною для забезпечення заданої продуктивності конвеєра.

#### Л і т е р а т у р а

1. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Бшеш Наием Юсеф. Совершенствование конвейеров с воздушной подушкой, транспортирующих штучные грузы: Дис...канд. техн. наук (05.22.12.) / Восточноукр. гос. ун-т. - Луганск, 1994. - 179 с.

УДК 621.833

А.И.Павлов, Д.В.Воронцова, А.П.Карпов, П.В.Филь

#### ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА С ВНУТРЕННИМ ЭВОЛЮТНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

В статье рассмотрена возможность применения эволютного зацепления в передаче с внутренним контактом. Исследованы варианты выбора коэффициента разновидности и изменение приведенного радиуса кривизны по высоте зуба. Рис. 3, истр. 4.

С целью снижения контактных напряжений во внешнем зубчатом зацеплении целесообразно применять зацепление с выпукло-вогнутым контактированием, которое приводит к снижению контактных напряжений в  $\sqrt{(u+1)/(u-1)}$  раз, так как приведенный радиус кривизны является основным варьируемым параметром в формуле Герца. А вот применение эволютного зацепления в случаях внутреннего контактирования может ли дать какой-либо эффект, до сих пор не установлено. Поэтому основная цель данной работы состоит в установлении целесообразности применения эволютного зацепления в зубчатых передачах с внутренним зацеплением.

Обратимся к рис.1, на котором представлена с помощью построения Бобилье замена зубчатой передачи четырехзвенным шарнирным механизмом. О правомерности такой замены в теории зацеплений есть противоречивые суждения. Так, например, в монографии Ф.Л.Литвина [1], говорится, что «требование нулю первой и второй производных передаточного отношения приводит к наложению двух связей между кривизнами поверхностей зубцов. При этом может оказаться, что соблюдение равенства нулю второй производной передаточного отношения скажется неблагоприятным образом на величине мгновенной площадки контакта и размерах пятна контакта».

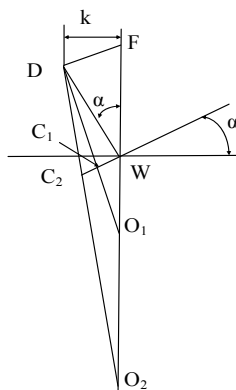


Рис. 1. К выводу радиусов кривизны сопряженных поверхностей во внутреннем зубчатом зацеплении

Налицо противоречие, вследствие чего требовать равенства нулю второй производной передаточного отношения не имеет смысла. А это значит, что прибегать к замене зубчатого механизма вполне допустимо, что и сделано в работе [3].

На основании рис.1 рассмотрим подобие треугольников  $O_1C_1W$  и  $O_1DF$ ,  $O_2C_2W$  и  $O_2DF$ . Составим пропорции:

$$\frac{O_2W}{C_2W} = \frac{O_2W + FW}{DF},$$

где  $O_1W = r$ ;  $C_1W = \rho_1$ ;  $FW = \frac{k}{\sin \alpha \cos \alpha}$ ;  $DF = \frac{k}{\cos \alpha}$ ;  $O_2W = ur$ ;  $C_2W = \rho_2$ .

После несложных преобразований получим значения радиусов кривизны рабочих сопряженных поверхностей в полюсе передачи для первого варианта:

$$\rho_1 = \frac{rk \sin \alpha}{r \sin \alpha \cos \alpha + k}; \quad (1)$$

$$\rho_2 = \frac{urk \sin \alpha}{ur \sin \alpha \cos \alpha + k}, \quad (2)$$

где  $u$  – передаточное число,  $k$  – коэффициент разновидности зацепления [4],  $r$  – радиус делительной окружности шестерни,  $\alpha$  – угол зацепления в полюсе передачи.

Пусть соотношение между  $\rho_1$  и  $\rho_2$  равно некоторому числу  $\lambda$

$$\lambda = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (3)$$

тогда

$$\lambda = \frac{u(r \sin \alpha \cos \alpha + k)}{ur \sin \alpha \cos \alpha + k}. \quad (4)$$

Откуда

$$k = ur \sin \alpha \cos \alpha \frac{\lambda - 1}{u - \lambda}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что в рассмотренном варианте должно выполняться условие

$$\lambda < u. \quad (6)$$

Пусть, например,  $\lambda = u - 1$ , тогда  $k = r \sin \alpha \cos \alpha \cdot u(u - 2)$  и

$$\rho_1 = r \sin \alpha \frac{u(u - 2)}{(u - 1)^2}, \quad \rho_2 = r \sin \alpha \frac{u(u - 2)}{(u - 1)}.$$

Разумеется, приведенный радиус кривизны в полюсе передачи не изменит своего значения по сравнению с внутренним эвольвентным зацеплением

$$\rho_{np} = r \sin \alpha \frac{u}{(u - 1)}. \quad (7)$$

Второй вариант приведен на рис. 2 (при  $k < 0$ ). Аналогично запишем пропорции

$$\frac{O_1W}{C_1W} = \frac{O_1W - FW}{DF}, \quad \frac{O_2W}{C_2W} = \frac{O_2W - FW}{DF}$$

и получим значения радиусов кривизны сопряженных поверхностей

$$\rho_1 = \frac{rk \sin \alpha}{r \sin \alpha \cos \alpha - k}, \quad (8)$$

$$\rho_2 = \frac{urk \sin \alpha}{ur \sin \alpha \cos \alpha - k}. \quad (9)$$

Для того, чтобы исследовать поведение приведенного радиуса кривизны вдоль линии зацепления, построим график, соответствующий формуле

$$\rho_{np} = \frac{(\rho_1 + \ell)(\rho_2 + \ell)}{\rho_2 - \rho_1}, \quad (10)$$

где  $\ell$  – полюсное расстояние (от точки контакта до полюса передачи), определяемое через высоту (координату  $x$ )

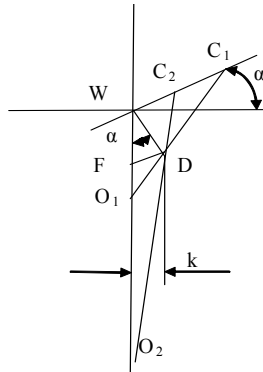


Рис. 2. К выводу радиусов кривизны сопряженных поверхностей во внутреннем зубчатом зацеплении во втором варианте (при  $k < 0$ )

$$\ell = x / \sin \alpha, \quad (11)$$

$\alpha$  – текущий угол зацепления, определяемый по формуле

$$\sin \alpha = \frac{y'}{\sqrt{1 + y'^2}}. \quad (12)$$

Таким образом, формула (10) принимает вид

$$\rho_{np} = \frac{(\rho_1 y' + x \sqrt{1 + y'^2})(\rho_2 y' + x \sqrt{1 + y'^2})}{(\rho_2 - \rho_1) y'}. \quad (13)$$

Как видим из (13), поведение приведенного радиуса кривизны тесно связано с видом самого зацепления. Для эвольвентного зацепления значение производной  $y'$  постоянно и равно  $\operatorname{tg} \alpha$ . Поэтому значение приведенного радиуса кривизны эвольвентного зацепления вычисляется по формуле

$$\rho_{np} = \frac{(\rho_1 \sin \alpha + x)(\rho_2 \sin \alpha + x)}{(\rho_2 - \rho_1) \sin \alpha}. \quad (14)$$

По полученным формулам (13) и (14) построены графики изменения приведенного радиуса кривизны в зацеплении по высоте зуба (рис. 3). В качестве эволютного зацепления принято решение дифференциального уравнения зацеплений

$$y'' = \frac{y'(1 + y'^2)}{ky' + x}, \quad (15)$$

приведенного в работе [3], при таких значениях:  $y'(0) = 0,3$ ; коэффициент разновидности зацепления  $k = \frac{2}{3} r \sin \alpha \cos \alpha$ . Передаточное отношение принято в обоих случаях одинаковое ( $u = 2$ ), число зубьев шестерни  $z = 20$ .

Как видно из графика изменения приведенного радиуса кривизны по высоте зуба (рис. 3), на участке доплюсного зацепления приведенный радиус для эволютного и эвольвентного зацеплений мало отличаются между собой, но на участке заплюсного зацепления их отношение дости-

гает 2,5 в пользу эволютного. Это указывает на целесообразность применения нового зацепления и в передачах с внутренним контактированием.

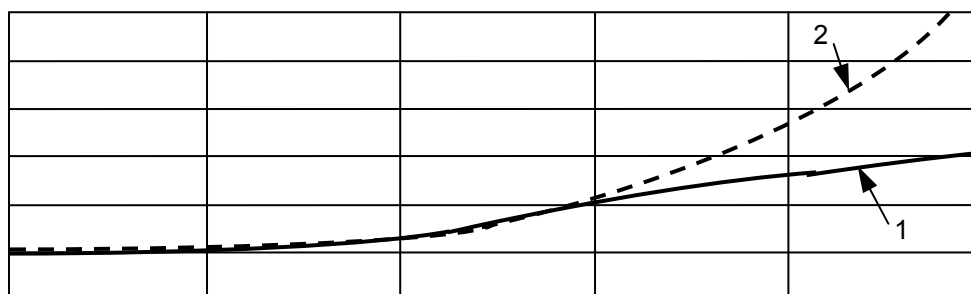


Рис. 3. Графики приведенного радиуса кривизны в зацеплении по высоте зуба:

1 – эвольвентное зацепление; 2 – эволютное зацепление

Выводы. 1. Приведенные графики (рис. 3) указывают на целесообразность применения эволютного зацепления в зубчатых передачах с внутренним зацеплением.

2. Необходимы дополнительные исследования по определению других характеристик эволютного зацепления (толщины масляного слоя, температурных параметров зацепления и т.д.) в зубчатых передачах с внутренним контактированием.

3. Возможно применение комбинированного зацепления для использования повышенного значения приведенного радиуса кривизны на заполносном участке линии зацепления.

#### Л и т е р а т у р а

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука. – 1968. – 584 с.
2. Litvin F.I. Theory of Gearing. Nasa Reference Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. – С-035. – Washington, D.C. – 1989. – 620 p.
3. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100 с.
4. Павлов А.И. Совершенствование зубчатых зацеплений с выпукло-вогнутым контактом. // Вестник Национального технического ун-та «ХПИ», вып.6. – Харьков. – 2001. – С. 181-184.

УДК 621.9.048

Д.В.Молчанов, Л.М.Лубенская, А.В.Романченко

#### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПОД ЗАЩИТНЫЕ И ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В статье проанализированы различные методы подготовки деталей под защитные и декоративные покрытия. Основное внимание уделено проблеме выбора операции подготовки поверхности в зависимости от требований, предъявляемых к поверхности и ее качеству. Ист. 7.

В связи с необходимостью защиты металлических изделий от коррозионного воздействия окружающей среды, повышением требований к внешнему виду металлопродукции на промышленных предприятиях увеличивается доля продукции, защищенной противокоррозионными и декоративными покрытиями.

Качественное нанесение покрытия (гальванического, термодиффузионного, лакокрасочного, полимерного и др.) на металлическую поверхность возможно лишь при тщательной ее подготовке, которая заключается в очистке поверхности от остатков консервационной, волочильной или других видов смазки, смазочно-охлаждающих жидкостей, солевых налетов, механических загрязнений, устраниии окалины, продуктов коррозии металла [1].

Покрытие всегда является последней, заключительной операцией изготовления изделий, поэтому операции сварки, термообработки и механической обработки должны быть выполнены заранее и сама поверхность детали должна к моменту покрытия иметь ту чистоту обработки, которая соответствует технологическому назначению изделия. Это требование вызвано тем, что нанесенное впоследствии какое-либо покрытие только повторяет, копирует шероховатость поверхности. Поэтому чем тщательней произведена механическая обработка поверхности перед покрытием, тем более однородным будет и слой покрытия. Хотя современные блестящие и так называемые «выравнивающие» металлические покрытия частично сглаживаются, но следы механической обработки становятся более заметными на блестящем фоне покрытия.

Длительность и эффективность работы покрытий зависят в большей степени от того, как тщательно подготовлена поверхность для нанесения защитно-декоративных покрытий.

Процесс подготовки поверхности деталей перед нанесением покрытий состоит из механической и химической обработки.

Операции подготовки поверхности к покрытию являются основой, определяющей качество защиты деталей. Многолетняя проверка причин брака по всем видам покрытий подтверждает, что до 70% всего брака связано с плохим качеством подготовки поверхности перед покрытием [2, 3].

Выбор метода и интенсивность подготовки поверхности тесно связаны с исходным состоянием и природой основы (поверхности под покрытие) и требований, предъявляемых к конечному продукту. Первостепенное значение имеет предварительная подготовка поверхности, на которую будет наноситься покрытие.

Несмотря на значительное усовершенствование способов механической подготовки, они все еще, особенно для деталей сложной конфигурации, являются весьма трудоемкими, нередко составляя главную статью расходов в производстве покрытий. В зависимости от природы конструкционного материала, назначения, размеров и формы деталей, наконец, от особенностей выбранного покрытия механическая подготовка осуществляется различными способами [4].

К основным видам механической подготовки поверхности относятся: шлифование, полирование, струйная обработка, галтовка и вибрационная обработка (виброшлифование и виброполирование).

Наиболее традиционным и универсальным, но вместе с тем самым трудоемким способом механической обработки, пригодным для всех видов конструкционных материалов, является шлифование и полирование, которое выполняется на шлифовальных кругах, эластичных кругах или бесконечных лентах с абразивными порошками различной природы и дисперсности. Как правило, такая обработка осуществляется в два - три, а иногда в четыре перехода с последовательным уменьшением размеров абразивных зерен. Шлифование позволяет достичь шероховатость поверхности, соответствующую Ra 1,60 – 0,10 мкм, а последующее полирование – Ra 0,05 – 0,012 мкм [5].

После шлифования поверхность деталей приобретает характерную штриховую фактуру. До блестящего и зеркального состояния (без видимых невооруженным глазом штрихов) поверхность может быть доведена тонким шлифованием (с уменьшением размеров абразивных зерен) и полированием [4]. Однако эластичный инструмент, применяемый при отделочном шлифовании и полировании, несколько искажает первоначальную строгость геометрических поверхностей и линий их сопряжения. Чем сложнее конфигурация детали и значительнее дефекты, подлежащие удалению в процессе обработки, тем больше вероятность такого искажения [5].

Широко распространены различные варианты сухой и мокрой струйной обработки конструкционных материалов, сущность которой заключается в следующем. Частицы абразива, обладающие достаточно большой кинетической энергией, сообщаемой им струей сжатого воздуха или жидкости, направляются на обрабатываемую поверхность металла. При этом происходит сравнительно быстрое и эффективное удаление различных загрязнений и поверхностных включений, а поверхность деталей приобретает шероховатую бархатистую фактуру.

Струйная абразивная обработка является эффективным методом подготовки поверхности металла под обрешивание. Получаемый при такой обработке развитый микрорельеф способствует прочному сцеплению металла с гальваническими покрытиями. Этот способ пригоден для обработки изделий в виде листов, прутков, ленты, труб [5].

Следует иметь в виду, что струйная обработка при давлении струи воздуха или жидкости более 2 - 3 атмосфер может создавать на поверхности металла значительный наклеп, способный вызвать деформацию тонкостенных деталей.

Весьма распространённым способом механической обработки перед нанесением покрытий на поверхность преимущественно мелких деталей является барабанная обработка, разновидности которой объединяются общим термином – галтовка.

Сухая галтовка чаще всего применяется без абразивной среды и является менее производительной и эффективной, чем мокрая. В зависимости от состояния поверхности деталей и требований, предъявляемых к их обработке, галтовка последовательно может выполнять функции шлифования и полирования. Галтовке целесообразно подвергать детали, не имеющих жесткие допуски, изготовленные литьем, штамповкой, черновым точением. При этом параметр шероховатости исходной поверхности Ra 3,2 мкм может быть понижен до Ra 0,8 мкм [5].

Однако этот метод дает хорошие результаты только на деталях простой геометрической формы, не имеющих глубоких царапин, забоин.

За последнее время с обычными галтовочными барабанами для сухой и особенно мокрой обработки успешно конкурируют вибрационные станки. В них относительное перемещение деталей и среды осуществляется за счет колебаний всей системы. Эффективность действия таких станков как в случае шлифования, так и в случае полирования значительно выше, чем у обычных галтовочных барабанов.

Вибрационная обработка (виброшлифование, виброполирование) – метод механической или химико-механической обработки деталей и заготовок путём сглаживания микронеровностей и съёма частиц материала с обрабатываемой поверхности частицами рабочей среды, совершающей колебания под действием колебаний контейнера, в которой находятся обрабатываемые детали и рабочая среда. Обработку осуществляют в сухой среде или в растворе, в состав которого могут вводиться различные химические добавки.

Вибрационную обработку применяют для очистки литья, удаления окалины и продуктов коррозии с поверхности заготовок и деталей, снятия заусенцев и скругления острых кромок, удаления облоя с литых, штампованных и прессованных деталей, уменьшение шероховатости поверхности, а также для подготовки поверхности под гальванические, лакокрасочные и др. виды покрытий и декоративное полирование.

В процессе вибрационной обработки происходят также выравнивание напряжений в поверхностном слое металла (создание сжимающих напряжений) и его наклёп [6].

Обработка детали абразивными гранулами способна понизить шероховатость поверхности до Ra 0,8 мкм, а последующее полирование стальными шариками снижает шероховатость путем смятия вершин микронеровностей до Ra 0,05 мкм [6].

Для интенсификации процесса вибрационной обработки, а также удаления технологических отходов обработки, как уже указывалось выше, применяются различные растворы и поверхностно-активные вещества, состав которых подбирается исходя из требуемых результатов, получаемых обработкой [7].

Применение комплексных многокомпонентных растворов способно не только повысить эффективность вибрационной обработки, но и частично или полностью избежать последующей химической подготовки поверхности (обезжиривания, травления, активации и т.д.).

Для вибрационной обработки, независимо от операций, которые необходимо осуществлять, используется простое, универсальное оборудование. Это станки с тороидальной или U-образным контейнером. Наиболее часто применяются станки именно с U-образным контейнером и нижним расположением привода, работающего в резонансном режиме, т.к. эти станки способны работать как на мягких режимах, необходимых для тонкой отделочной обработки, так и на грубых режимах, необходимых на зачистных операциях [6].

Вибрационная обработка повышает производительность подготовки деталей благодаря совмещению в одном технологическом процессе нескольких операций, исключает необходимость в базировании, закреплении и строгой ориентации заготовки и инструмента, уменьшает расход материалов, сокращает количество ранее применяемого оборудования и др.

Проведенный сравнительный анализ различных наиболее часто применяемых методов подготовки деталей под защитные и декоративные покрытия показал существование большого количества методов подготовки поверхности и отсутствие четких рекомендаций по их выбору.

При традиційному шліфуванні і поліруванні виникають труднощі з обробкою деталей складної форми, що пов'язано з конструкцією станка і інструмента. Застосування струйної обробки обмежено також конфігурацією оброблюваних поверхностей деталі, а також призводить до виникнення деформації тонкостінних деталей.

В той же час вібраційна обробка застосовується для деталей будь-якої геометричної форми і розміру. Обробка ефективна як для зовнішніх, так і для внутрішніх поверхностей. Застосування спеціальних розчинів підвищує продуктивність обробки, к тому ж частково або повністю виключає, як вказувалося раніше, деякі наступні операції хімічної підготовки поверхні. Одночасна обробка великої кількості деталей знижує штучне час обробки одиничного изделия. Простота конструкції, так і обслуговування обладнання, широкі технологічні можливості цього методу обробки в поєднанні з високою продуктивністю ставлять його в число найбільш актуальних і перспективних способів підготовки деталей під покриття.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лебедев Н.М., Жирнова Т.И., Саутин А.Г., Воронин О.В. Ультразвуковой метод подготовки металлов к нанесению защитных покрытий. [http://www.alexplus.ru/articles/metal\\_prepare.html](http://www.alexplus.ru/articles/metal_prepare.html)
2. Справочник гальваника / Б.И.Байрачный, В.В.Орехова, Э.П.Харченко и др. – Харьков: Прапор, 1988. – 180с.
3. Сухарев Э.А. Технология и свойства защитных покрытий в машинах: Учебное пособие. – Ровно: УГУВХП, 2004, – 182 с.
4. Эйчис А.П. Покрытия и техническая эстетика. – Киев: Техника, 1971. – 248 с.
5. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / Под. ред. П.М.Вячеслава. – Изд. 5-е, перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 101 с.
6. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. –Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 624 с.
7. Виброхимическая обработка. <http://optimfinish.narod.ru/Texnovivrxim.htm>.

#### УДК 628.517.2

**В.А.Малов, М.А.Касьянов, М.А.Пітельгузов**

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ КУЗОВА ВАГОНА ПАСАЖИРСЬКОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

Досліджено параметри, що характеризують шумове випромінювання у вагоні дизель-або електропоїзда. Рис. 1, дж. 12

**Аналіз стану питання.** В умовах експлуатації транспорту шум є невід'ємною частиною роботи силових та допоміжних механізмів, що забезпечують транспортні операції при перевезенні вантажів і пасажирів. Особливо це виявляється на транспортних засобах, що використовують індивідуальні джерела енергії (дизель- та електрогенератори), які створюють у процесі своєї роботи механічні коливання і є могутніми джерелами шуму та вібрації, що підсилюються від ударних явищ при взаємодії ходових частин з верхньою будівлею залізничної колії. Умови експлуатації залізничного рухомого складу характеризуються змінним режимом роботи, що залежить від профілю і ділянки шляху, установлені швидкості, маси потягу та інших факторів, що впливають на величину коливальної енергії як усередині, так і зовні транспортного засобу. Рівень транспортного шуму залежить від взаємного розташування, конструктивних особливостей джерел звуку, технології їхнього виготовлення, технічного стану та режиму роботи і проявляється у виді хаотичних полігармонійних коливань різного рівня і спектрального складу.

Ці коливання передаються через повітряне середовище і конструкції транспортного засобу, створюючи звукове поле і шумове навантаження зовні і усередині транспортних засобів, негативно впливаючи на стан обслуговуючого персоналу і комфортність пасажирів, що знаходяться у салонах вагонів.

У зв'язку з цим виробники пасажирських транспортних засобів постійно приділяють увагу питанням зниження шумових навантажень. Вимоги за рівнями шуму базуються на існуючих державних стандартах і санітарних нормах, враховують конструктивні особливості засобу конкре-

тного виду транспорту та його призначення і викладаються у технічних умовах на постачання транспортних засобів. Ці вимоги, як правило, рік від року стають усе більш жорсткими і для їхнього виконання необхідно проводити аналіз акустичних характеристик джерел механічних і акустичних коливань на пасажирському рухомому складі (ПРС), що впливають на навколишнє середовище.

Цілеспрямоване зниження шумових характеристик дизель- і електропоїздів (ДЕП) передбачає проведення поглиблених досліджень фізичної сутності процесів передачі звукової енергії в умовах внутрішнього обмеженого простору транспортних засобів.

Питання зниження шуму в промисловості були розглянуті в наукових працях С.П.Алексєєва, І.І.Славіна, В.М.Лукашина, А.Б.Кане, Є.А.Скобцева, Є.Я.Юдіна, Є.П.Самойленко і ін., в архітектурно-будівельній галузі – І.І.Боголепова, В.І.Закабана, Г.Л.Осіпова, С.Д.Ковригіна, на залізничному рухомому складі - Г.В.Бутакова, С.М.Вострухіна, Є.П.Фоміна, М.А.Пітельгузова, а також закордонних учених Д.Зборальського, Є.Хіршнера і ін. [1...12].

**Постановка задачі.** Удосконаленню способів і засобів зниження шуму ПРС мають сприяти як експериментальні, так і теоретичні дослідження зміни параметрів звукових коливань з урахуванням специфічних особливостей ДЕП. У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка комплексної програми зменшення шумового навантаження з метою вибору ефективних методів дотримання вимог нормативних документів з охорони праці щодо рівнів шуму на робочих місцях постійного або тимчасового перебування обслуговуючого персоналу і пасажирів ПРС. Отже завданням дослідження є проведення аналізу сучасних методів і підходів зі зменшення шуму в різних галузях промисловості та транспорту і розробка теоретичних положень з оцінки методів і заходів щодо зниження шуму окремих джерел на ПРС.

**Матеріали і результати дослідження.** У процесі дослідження виконано аналіз стану і існуючих підходів зі зменшення рівнів шуму і шумового навантаження на виробництві і транспорті, що є одним з актуальних завдань забезпечення нормальних умов праці.

Встановлено, що зниження виробничого шуму має розглядатися як комплексна проблема, що існує у різних галузях промисловості, а залізничний рухомий склад є одним із джерел шуму у транспортних потоках нинішнього суспільства. Він негативно впливає у першу чергу на обслуговуючий персонал і пасажирів, що користуються послугами залізничного транспорту, а також на – жителів населених пунктів. У зв'язку з цим завданням зниження шуму можна вирішувати за двома напрямками. Перший – це зменшення шумового навантаження, що впливає на локомотивні бригади, провідників і пасажирів усередині рухомого складу. Другий – це зменшення випромінювання шуму у навколишній простір.

На підставі виконаного аналізу зроблено висновок, що цілий ряд відомих теоретичних і методичних положень можна взяти за основу для розробки методів і засобів зниження шуму на транспорті. Але специфічні особливості пасажирського рухомого складу як об'єктів, що знаходяться у русі і мають силові пристрої з декількома системами, розташованими у невеликому обсязі і встановленими на рамі або кузові, накладають обмеження на їхнє широке застосування. Тому потрібно провести дослідження питань зниження шуму в джерелах випромінювань і на шляхах його розповсюдження в обмежених об'ємах ПРС. Постановці такого завдання сприяв і перехід ВАТ ХК «Луганськтепловоз» на випуск дизель- та електропоїздів. При обґрунтуванні можливих напрямків досліджень привертну увагу до волноного методу розрахунку проходження звукових вібрацій по елементах конструкцій. У цьому методі використовується не середня величина коливальної швидкості, а її ефективне значення.

У процесі дослідження впливу різних джерел шуму на шумове навантаження у внутрішньому об'ємі вагонів пасажирського рухомого складу випромінювання усередині кузова вагона ПРС представлено такими, що складаються із структурного і повітряного шуму від джерел з аеродинамічною природою утворення коливальних процесів у системах силових та допоміжних механізмів і ударних явищ при русі колісних пар по рейках. При дослідженні параметрів, що характеризують випромінювання, кузов дизель- або електропоїзду представлено у виді однорідної еквівалентної оболонки (рис. 1) з радіусом кривизни, рівним

$$r_k = \sqrt{\frac{F_k}{\pi}}, \quad (1)$$

де  $F_k$  – площа поперечного перерізу кузова вагона,  $m^2$ .

Розглядаючи інтенсивність звукової хвилі, яка складається з прямих і відбитих хвиль

$$I_m = I_{n_3} + I_{0_3}, \quad (2)$$

можна представити загальну інтенсивність прямої звукової хвилі у виді суми інтенсивностей декількох джерел

$$I_{n_3} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{2 \cdot \pi \cdot r_i^2}, \quad (3)$$

де  $W_i$  – акустична потужність  $i$ -го джерела шуму, Вт;  $n$  – число джерел;  $r_i$  – відстань від точки виміру усередині вагона до джерела, м.

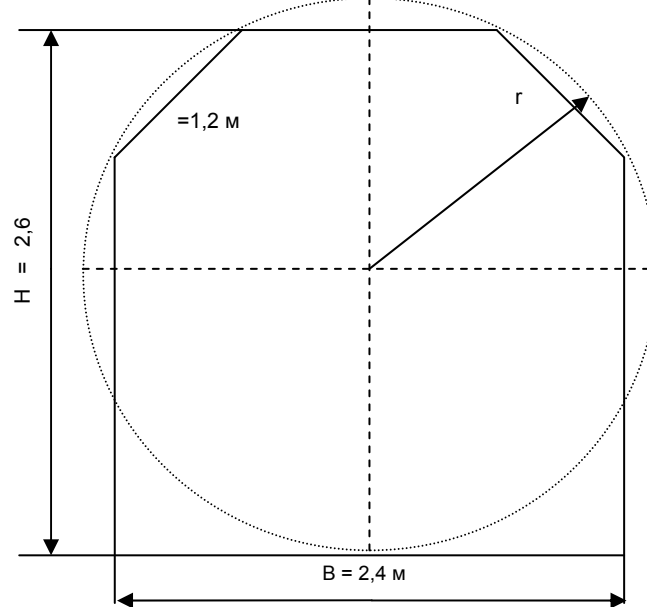


Рис. 1. Поперечний переріз і еквівалентна оболонка кузова вагона ДЕЛ

Інтенсивність відбитої звукової хвилі також є сумою інтенсивностей відбитих звукових хвиль кожного джерела

$$I_{0_3} = \sum_{i=1}^n \frac{4 \cdot W_i}{R_m} = \frac{4}{R_m} \cdot \sum_{i=1}^n W_i, \quad (4)$$

де  $R_m$  – постійна приміщення кабіни або салону ДП або ЕП.

$$R_m = \frac{S_m \cdot \alpha_{cp}}{1 - \alpha_{cp}}, \quad (5)$$

де  $S_m$  – площа поглинання внутрішніх поверхонь кабіни машиніста або салону вагона ДП і ЕП.

Середній коефіцієнт звукопоглинання у кабіні або салоні дорівнює

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{S_m} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot \alpha_i. \quad (6)$$

Підставивши (2) і (3) у (1), одержимо вираз для інтенсивності шуму

$$I_m = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_i^2} + \frac{4}{R_m} \right), \quad (7)$$

або переходячи до рівнянь інтенсивності в дБ, одержуємо

$$L_m = N_c + 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_i^2} + \frac{4}{R_m} \right), \quad (8)$$

де  $N_c$  – сумарний рівень акустичної потужності джерел, дБ.

$$N_c = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1N_i}, \quad (9)$$

де  $N_i$  – рівень акустичної потужності окремого джерела, дБ.

Величина звукоізолюючої здатності пов'язана з коефіцієнтом звукопроникнення формулою

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (10)$$

Оскільки значення дифузійного коефіцієнта звукопроникнення у елементарних функціях у явному виді не вирішується, на ЕОМ було виконано його чисельне інтегрування. Розрахунок було виконано для стінок кузова головного вагона ДЕЛ-02 для двох варіантів з урахуванням і без урахування маси каркаса кузова. Поверхнева вага становила  $P = 325$ , а розрахункова формула для звукопроникнення кузова вагона була такою

$$\tau = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin 2\varphi \cdot d\varphi \cdot d\theta}{\left( 1 + \frac{1}{1,76 \cdot 10^7} \cdot f^3 \cdot \cos \varphi \cdot \sin^4 \varphi + \frac{1,48 \cdot 10^3}{f} \cdot \cos \varphi \cdot \sin^4 \theta \right) + \left( \frac{f \cdot \cos \varphi}{3,6} - \frac{f^3}{1,91 \cdot 10^7} \cdot \cos \varphi \cdot \sin^4 \varphi - \frac{1,38 \cdot 10^5}{f} \cdot \cos \varphi \cdot \sin^4 \theta \right)^2} \quad (11)$$

Результати розрахунку за законами маси, виконані на ЕОМ з припущенням того, що кузов вагона має монолітну однорідну структуру, для стінок кузова, як для будівельної плити і як для одностінної конструкції, показали, що теоретичні значення звукоізолюючої здатності кузова як еквівалентної циліндричної оболонки нижчі, ніж при розрахунку для плити і для одностінної конструкції.

Загальна акустична потужність випромінювання кузова вагона ПРС дорівнює сумі випромінювання складових елементів

$$W_k = W_1 + W_2 + \dots + W_n, \quad (12)$$

і виражається через інтенсивність падаючої хвилі

$$W_k = I_{\text{наг}} \cdot (S \cdot 10^{-0,1R} + S_1 \cdot 10^{-0,1R_1} + S_2 \cdot 10^{-0,1R_2} + \dots + S_n \cdot 10^{-0,1R_n}) = I_{\text{наг}} \cdot 10^{-0,1R} \cdot (S + S_1 \cdot 10^{0,1(R-R_1)} + S_2 \cdot 10^{0,1(R-R_2)} + \dots + S_n \cdot 10^{0,1(R-R_n)}) \quad (13)$$

При розгляді випромінювання від корпусної складової кузова використано прийнятий у прикладній акустиці, волонний метод, що погоджує коефіцієнти відображення і проходження вигинних хвиль з коефіцієнтом звукопроникнення. Було отримано вираз для рівнів коливальної швидкості двох перетинів обшивання кузова вагона (у місці розташування силової установки і візка)

$$L_{v2} = L_{v1} + 10 \lg \frac{h_1}{h_2}, \quad (14)$$

де  $L_{v1}$  – рівень вібрації на рамі першої пластини в потоці силової установки вагона, дБ;  $h_1, h_2$  – товщини сполучних пластин, мм.

Величина  $\Delta_2 L_{CS}$ , яка враховує ослаблення випромінювання через зашивки у випадку, коли останні мають жорсткі зв'язки з обрешіткою основної конструкції, визначається за графіками зниження шуму, обумовленого випромінюванням основної конструкції перегородок завдяки впливу зашивок, встановлених з різним повітряним проміжком (від  $l = 30$  мм до  $l \geq 90$  мм). Розроблена модель проектного розрахунку очікуваних величин рівнів шуму у кабінах машиністів і пасажирсь-

ких салонах дизель- та електропоїздів дозволяє оцінити внесок окремих джерел на загальний рівень шуму та їхній сумарний вплив на умови праці обслуговуючого персоналу і стан комфорту пасажирів при русі поїздів.

У результаті теоретичних досліджень встановлено, що:

а) шум усередині вагонів може бути представлений сумою трьох складових – аеродинамічної, випромінювання кузова і шуму ходових частин. Такий розподіл дозволяє більш цілеспрямовано підходити до дослідження шумів дизель- і електропоїздів як складного звукового коливання, що залежить від природи кожної складової;

б) представлення кузова моторного вагона як деякої еквівалентної циліндричної оболонки дозволило одержати основні параметри, що характеризують поширення шуму усередині вагона, виходячи з особливостей характеру звукових хвиль, випромінюваних кузовом від окремих джерел;

в) складова випромінювання кузова усередині вагона за природою шумостворення може бути представлена такою, що складається з повітряного і структурного шуму;

г) повітряний шум визначається рівнем шуму силового і допоміжного устаткування і звукоізолюючою здатністю від окремих конструктивних елементів кузова вагона;

д) рівень шуму у силовому відсіку залежить від акустичної потужності джерел і може бути знижений декількома методами, у тому числі шляхом застосування звукопоглинаючого облицювання по внутрішній поверхні кузова моторного вагона;

е) звукоізолююча здатність кузова залежить від поверхневої ваги і коефіцієнта втрат у матеріалі кузова. Звукоізоляція останнього, визначена як для еквівалентної циліндричної оболонки, виявилася нижчою, ніж при розрахунку за методами, прийнятими у будівництві та у суднобудуванні;

є) структурний шум залежить від величини звукової вібрації, що поширюється по рамі моторних вагонів від силових, допоміжних механізмів і машин та від ходових частин. Зниження звукової вібрації при проходженні коливальних від жорстко встановленого дизеля по рамі до кузова вагона незначне. Величина рівня коливальної швидкості стінки кузова залежить від товщини металевих листів обшивки;

ж) джерела шуму, що входять до аеродинамічної складової, можуть бути представлені у виді деякої найпростішої моделі випромінювача у виді сфери. Зниження шуму для такого випромінювача при подвоєнні відстані від нього становитиме 6 дБ.

**Висновки.** Розроблена методика розподілу і прогнозування шуму за складовими дозволяє встановлювати, яке джерело або складова є визначальними в шумовому навантаженні існуючого моторного вагона і тим самим обґрунтовувати заходи щодо зниження шуму. Крім того, користуючись цією методикою можна визначати рівень шуму дизель- або електропоїзда, що проектується, і встановлювати обґрунтовані вимоги за рівнями шуму окремих джерел, які мають бути приведені у технічних умовах на постачання комплектуючого устаткування.

#### Л і т е р а т у р а

1. Алексеев С.П., Козаков А.М., Колотилов Н.Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1970. – 208 с.
2. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, контроль. – Л.: Судостроение, 1986. – 386 с.
3. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под общей редакцией Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
4. Бобин Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1973. – 302 с.
5. Бутаков Г.В., Вострухин С.Н., Кузнецов П.В., Тагер Н.П., Фомин Е.П. Снижение шума в кабине машиниста тепловоза с помощью звукопоглощающих конструкций. // Транспортное машиностроение, № 17. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. - С. 37-41.
6. Бутаков Г.В., Пительгузов Н.А. Требования к звукоизоляции ограждений кабины и кузова тепловоза. // Транспортное машиностроение, № 17. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970.
7. Бутаков Г.В. Определение основных компонент шума в кабине машиниста тепловоза с электрической подачей. // Транспортное машиностроение, № 17. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. - С. 68-73.
8. Бутаков Г.В., Тагер Н.П. Исследование структуры шума в пассажирских вагонах при скорости движения 130 – 160 км/час. // Труды ЦНИИ МПС, № 268, 1965. С. 21-26.

9. Дідковський В.С., Маркелов П.О. Шум та вібрація. Підручник. – К.: Вища школа, 1995. – 263 с.
10. Пітельгузов М.А. Засоби захисту від шуму та вібрації в машинобудуванні. – Луганськ.: СНУ ім.В. Даля, 2003. – 156 с.
11. Рекомендации по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок. М.: Стройиздат, 1984. – 52 с.
12. Касьянов Н.А., Басов Г.Г., Малов В.А. и др. Отчет по НИР Тема М 33-03 «Исследование шума и разработка методов его уменьшения на пассажирском составе, выпускаемом ОАО Х/К «Лугансктепловоз» № госрегистрации 0103U008252, Луганск, 2005. – 83 с.

**УДК 004.056**

**О.А.Ткачук, Е.Ю.Поляченко**

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ LABVIEW В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В работе рассмотрены возможности применения виртуальной среды LabView при решении учебных и научных задач, проведении экспериментальных исследований, в том числе в системе дистанционного образования. Предложен пример создания виртуального измерительного прибора. Рис. 10, ил. 5.

Автоматизация на основе применения компьютеров и вычислительных сетей проникает во все сферы жизни современного общества, связанные с использованием и переработкой информации [1]. В первую очередь, информатизация на базе автоматизированных систем затронула процессы в производственной сфере. Появились автоматизированные системы проектирования, управления производством, технологическими процессами и др. В настоящее время все заметнее становится тенденция к информатизации сферы образования, особенно в связи с переходом к постиндустриальному обществу [2]. Создаются электронные учебники, разрабатываются автоматизированные системы обучения, организуются виртуальные университеты, обсуждаются вопросы дистанционного образования [3,4].

Однако в силу очевидной сложности формализации процессов обучения и из-за новизны Internet-технологий эти проблемы находятся на начальной стадии своего решения, возможности современных информационных технологий используются в малой степени. Среди большого количества появляющихся сегодня программных продуктов требуется умение выбрать те, которые могли бы существенно облегчить научные исследования и учебный процесс, быть применимыми в системах дистанционного обучения [5].

Одной из таких программ является LabView – виртуальная среда для создания различных программ. Программа LabView называется виртуальным прибором (ВП), так как внешний вид и функциональность повторяет традиционный физический прибор, такой как осциллограф или мультиметр. LabView содержит большой набор инструментов для сбора данных, обработки (анализа), отображения и архивирования. Сначала создается интерфейс пользователя или лицевая панель ВП, используя многочисленные управляющие элементы и индикаторы (лимбы, ручки регулировки, тумблеры, кнопки, графики, лампочки и т.д.). После создания лицевой панели определяется функциональность ВП путем помещения на блок-диаграмму код программы в виде других ВП и структур LabView для управления элементами лицевой панели. Таким образом, код в LabView напоминает блок-схему. Система LabView устроена так, что человек, знакомый с основами программирования, освоив назначение элементов, легко сможет создавать свои виртуальные приборы.

Для ознакомления с системой LabView предлагается сделать простую программу. Это симулятор виртуального прибора. Программа снимает сигнал с датчика и отображает значение сигнала на графике и на цифровом индикаторе. Пользователь выставляет предельное значение и если показание датчика превысит его, загорится лампочка. В реальных системах вместо лампочки

программа может включать/выключать различные устройства, запускать выполнение заложенных подпрограмм и др.

1. Запустите программу National Instruments LabVIEW 6i.
2. В появившемся окне выберите New VI (Новый виртуальный прибор).

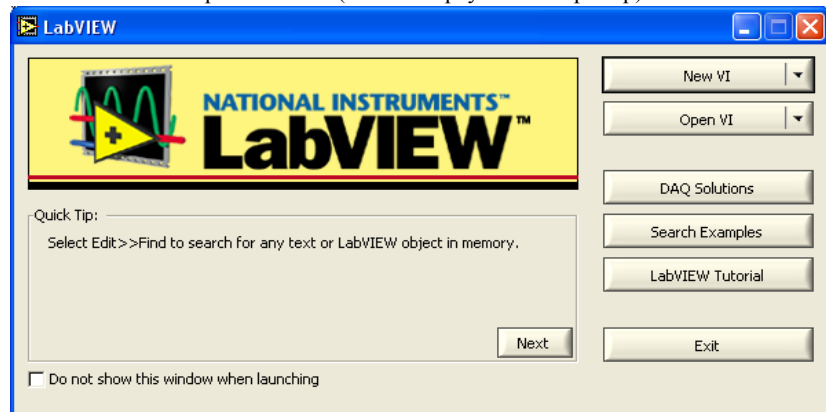


Рис. 1. Окно программы National Instruments LabVIEW 6i

1. Вы увидите перед собой два окна (рис. 2): одно окно с серым фоном, там вы будете размещать элементы виртуального прибора; другое окно с белым фоном (diagram), где будет размещаться блок-схема программы.

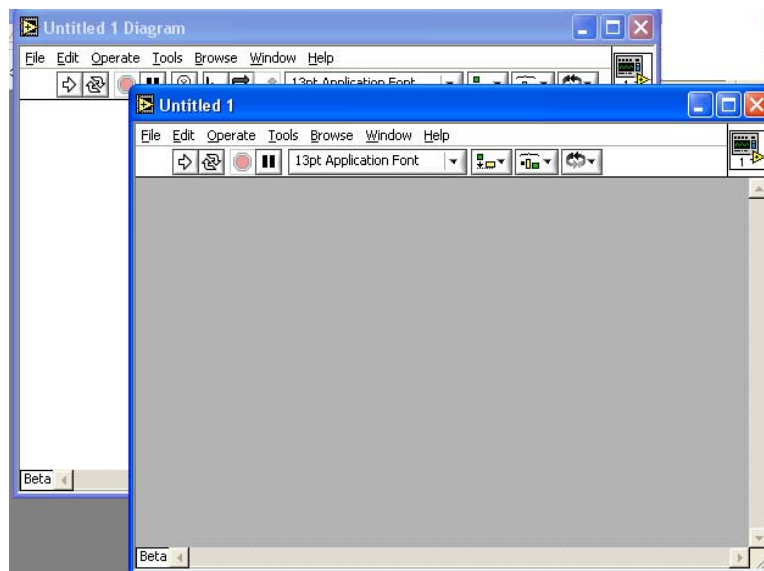


Рис. 2. Окно для размещения элементов виртуального прибора и блок-схемы

2. Сначала создадим панель управления (рис.3). Для этого нам понадобится окно с серым фоном. Вызовите палитру инструментов Tools Palette. Она находится в Window -> Show Tools Palette. Далее вызовите палитру элементов Controls Palette. Window -> Show Control Palette. Нажмите на панели элементов кнопку Numeric. На появившейся палитре щелкните мышкой на значок Meter и поместите его в удобном для вас месте на сером фоне. То же сделайте со значком Dial.

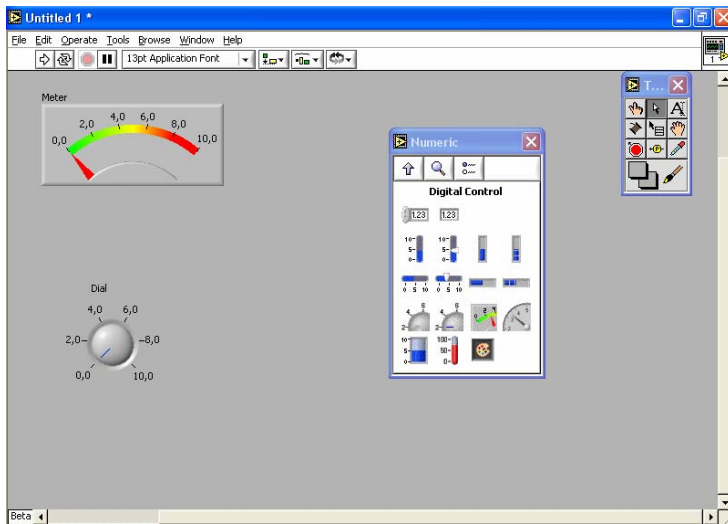


Рис. 3. Создание панели управления

3. Ручка Dial в данном приборе будет симулировать показания датчика. Пользователь будет крутить эту ручку, а прибор Meter будет показывать значения. Теперь поместим поле для графика, где будут отображаться показания датчика. Нажмите значок Graph на Control Panel. Выберите Waveform Chart и поместите его на серое поле (рис. 4).

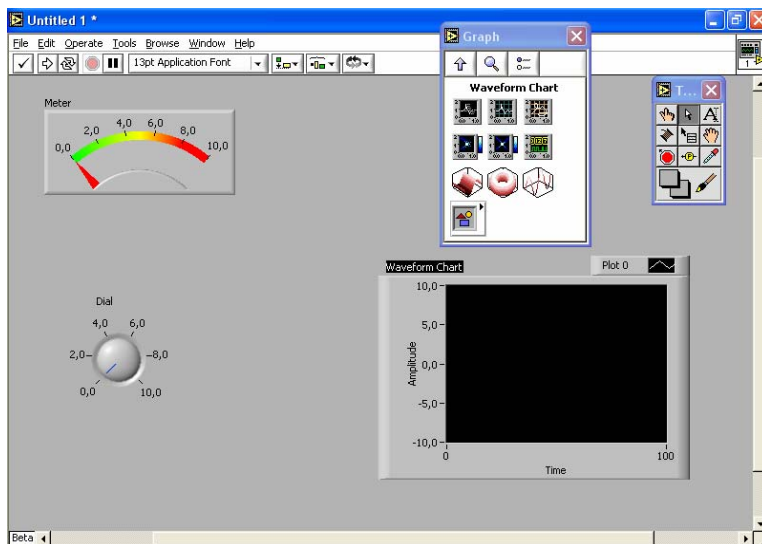


Рис. 4. Размещение измерительных приборов на рабочем поле

4. Поместите контрольную лампочку на серое поле. Лампочка находится в Control Palette->Boolean->Round LED.
5. Для задания пользователем предельного значения поместите на поле инструмент Horizontal Pointer Slide. У вас должно получиться окно, показанное на рис. 5.

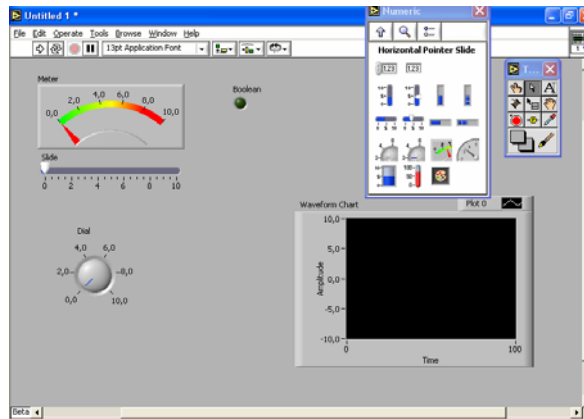


Рис. 5. Окно с размещенными виртуальными измерительными приборами

6. Далее перейдите на окно Diagram. Если его нет, вызовите его: Window->Show Diagram. На экране должны быть две панели: Functions и Tools Palette. Чтобы программа выполнялась непрерывно, создадим структуру цикла While. Functions->Structure->While Loop. Щелкните на белом фоне окна диаграммы и растяните. Создайте условие для бесконечного цикла. Для этого щелкните правой кнопкой мыши на значок цикла и выберите Create constant. Замените также Continue if true на Stop if true.

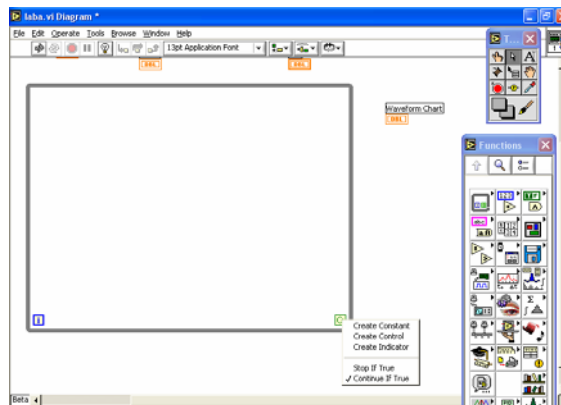


Рис. 6. Окно Diagram

7. Далее перетащите все элементы (Meter, Dial, Round LED, Waveform Chart, Slide) внутрь цикла. Выберите инструмент «катушка» из Tools Palette и соедините элементы, как показано на рис. 7.

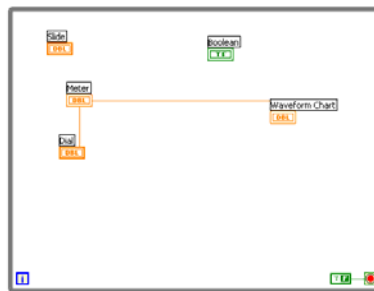


Рис. 7. Создание блок-схемы программы

8. Перейдите на лицевую панель и запустите прибор кнопкой (рис. 8, а). Покрутите ручку Dial. Показание индикатора Meter должно изменяться. Остановите прибор кнопкой (рис. 8, б). Перейдите обратно на диаграмму.



а



б



в

Рис. 8. Кнопки управления: а - запуска, б – остановки, в – знак сравнения

9. Поместите на блок-диаграмму значок сравнения «больше или равно» (рис., 8, в), Functions->Comparison-> Less Or Equal? Соедините остальные элементы, как показано на рис. 9.

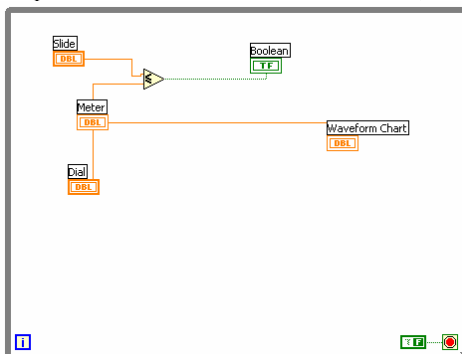


Рис. 9. Блок-схема программы

10. Перейдите на лицевую панель и запустите программу (рис. 10). Теперь вы можете выставить предельное значение и, если значение индикатора превысит его, загорится лампочка.

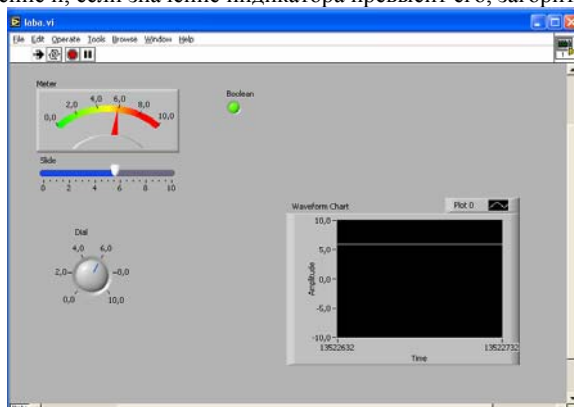


Рис. 10. Готовое окно для запуска программы

Таким образом, применение программы LabView позволяет значительно расширить область решаемых в учебных [6] и научных целях задач, существенно повысить скорость обработки результатов, уменьшить время проведения экспериментальных исследований.

**Выводы.** 1. Программа LabView может быть широко использована при решении различных учебных и научных задач, связанных с проведением опытных измерений.

2. Применение программы LabView в системе дистанционного образования позволяет выполнять лабораторные работы и другие практические задачи, что ранее вызывало большие сложности.

## Л и т е р а т у р а

1. Основы современных компьютерных технологий / под ред. Хомченко А.Д. – М.: МЭСИ, 2002. – 320 с.
2. Открытое образование: предпосылки, проблемы, тенденции развития / Под ред. В.П. Тихомирова // Изд-во МЭСИ, М.: 2000. – 280 с.
3. Усков В.Л. Дистанционное инженерное образование на базе Internet // Библиотечка журнала "Информационные технологии", 2000, № 3. – 46 с.
4. Путилов Г.П. Концепция построения информационно-образовательной среды технического вуза/ М.: МГИЭМ, 1999. – 180 с.
5. Норенков И.П. Концепция модульного учебника // Информационные технологии, 1996, № 2. - С. 4 -7.
6. Поляченко Е.Ю., Ткачук О.А. Компьютерные лабораторные работы по курсу «Прикладная теория цифровых автоматов» с использованием CAD Electronic WorkBench // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2007. – № 9. Ч.1. – С. 269-272.

УДК 621.771

**В.А.Матвийчук**

### **СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ**

В работе предложены экспериментально-расчётные способы исследования пластичности металлов, расширяющие возможности определения пластичности при заданной схеме напряжённого состояния и позволяющие учитывать эффект повышения пластичности при образовании шейки в случае растяжения. Рис. 5, ист. 5.

В процессах обработки металлов давлением (ОМД) часто ограничивающим фактором является их разрушение. Развитие подходов к моделированию накопления повреждённости металлов при пластическом деформировании и разработка критериев деформируемости [1, 2] позволили определять величину использованного ресурса пластичности и предельно достижимые размеры заготовок в технологических процессах ОМД.

Вместе с тем, использование указанного подхода на практике часто сопряжено с определёнными трудностями. К главным из них относятся сложности определения напряжённостно-деформированного состояния (НДС) заготовок и влияния на него технологических параметров процесса обработки, а также сложности в реализации технологических проб по определению пластичности металла и построению диаграмм пластичности.

Как правило, в качестве технологических проб испытания металлов на пластичность используют сжатие, кручение и растяжение цилиндрических образцов. В качестве меры пластичности обычно используют накопленную к моменту разрушения деформацию  $\varepsilon_*$ . Однако при этом часто возникают проблемы, связанные со сложностью выдерживания при испытаниях постоянной заданной схемы напряжённого состояния, однородной по всему сечению образца.

Не существует и единого показателя схемы напряжённого состояния. Наиболее полно при объёмном напряжённом состоянии его схема описывается комбинацией таких показателей, как показатель жёсткости напряжённого состояния  $\eta$ , предложенный Г.А.Смирновым-Аляевым, параметр Надаи-Лодэ  $\mu_\sigma$ , а также показатель  $\eta_2$ , предложенный В.А.Огородниковым [1] и учитывающий влияние третьего инварианта тензора напряжений. Тем не менее, в большинстве критериев подинтегральная функция включает модель зависимости предельной деформации  $\varepsilon_*$  от показателя  $\eta$ . При исследовании пластичности сложность заключается в поддержании условий  $\eta = \text{const}$  на протяжении всего времени испытания образца.

Целью настоящей работы является разработка способов испытания металлов, позволяющих обеспечить высокую точность определения их пластичности при заданной схеме напряжённого состояния.

Рассмотрим испытание цилиндрических образцов на осадку. На рис. 1, а показана схема осадки сплошных цилиндрических образцов с попыткой обеспечить условие линейного сжатия.

Однако даже при использовании эффективной смазки и прокладок из слоёв мягкой фольги, это реализовать затруднительно. Применение таких приёмов, как поэтапное подшлифовывание кромок лунки на торцах или вдавливание их без фольги с последующей поэтапной осадкой с фольгой, позволяет выдерживать напряжённое состояние, близкое к линейному, только до определённых степеней осадки.

На рис. 1, б показана предложенная схема осадки кольцевых образцов.

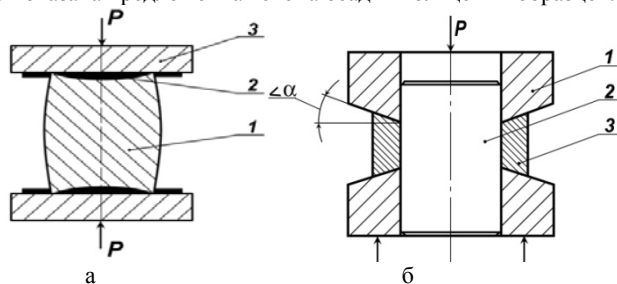


Рис. 1. Осадка образцов в условиях одноосного сжатия:  
а - сплошного цилиндрического (1 – образец; 2 – фольга; 3 – инструмент);  
б – кольцевого (1 – инструмент; 2 – оправка; 3 – образец)

При осадке кольцевых образцов применяется инструмент с конической рабочей поверхностью. Угол наклона её образующей  $\alpha$  подбирается экспериментально из условия  $\operatorname{tg} \alpha = \mu$ , где  $\mu$  - коэффициент трения на контакте инструмента с заготовкой, что позволяет обеспечивать условие линейного сжатия. В соответствии с данным методом кольцевые образцы могут быть получены из сплошных заготовок или труб. Для исключения потери устойчивости при осадке отношение высоты образца к толщине стенки не должно превышать двукратного значения. Преимуществом данного способа является также то, что использование кольцевых образцов позволяет испытывать материалы с достижением более однородных свойств по деформируемому объёму

Преимуществом кручения при испытании металлов на пластичность, является то, что в процессе кручения цилиндрических образцов выдерживаются постоянные значения показателей  $\eta = 0$  и  $\mu_{\sigma} = 0$ . К основному недостатку, в случае испытания на пластичность сплошных цилиндрических образцов, следует отнести неравномерное распределение НДС по поперечному сечению образца. На рис. 2 показано устройство для испытания на пластичность трубчатых образцов, исключающее влияние на пластичность градиента деформации в поперечном сечении образца.

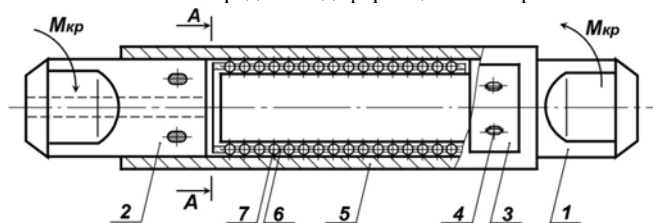


Рис. 2. Устройство для испытания трубчатых образцов на пластичность:  
1 - держатель-оправка; 2 – держатель; 3 - накладка с винтами 4; 5 – образец;  
6 – сепаратор; 7 - шарики

Расположение трубчатого образца с натяжением на оправке позволяет предотвратить потерю его устойчивости при испытаниях на кручение и кручение с растяжением, в т.ч. в камере высокого давления.

Наиболее распространённой технологической пробой испытания на пластичность является растяжение цилиндрических образцов. Основным недостатком данного метода является появление в процессе растяжения потери устойчивости деформирования в виде образования шейки (рис. 3, а), которое нарушает постоянство значений показателей напряжённого состояния.

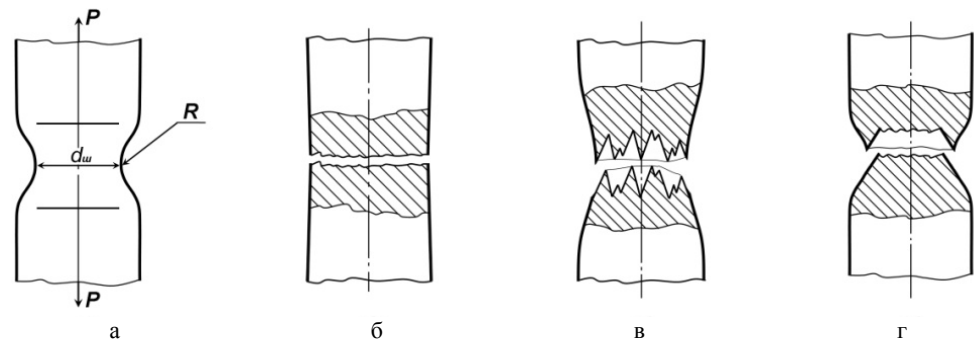


Рис. 3. Вид растянутых цилиндрических образцов в зоне их разрушения:  
 а - форма и параметры шейки; б - разрушение отрывом; в - разрушение срезом;  
 г - разрушение срезом-отрывом

Предельная равномерная деформация в момент образования шейки  $\varepsilon_p$  определяется способностью металла к упрочнению. При растяжении некоторых сталей (P18, P6M5) соблюдается условие  $\varepsilon_* \leq \varepsilon_p$ , и поэтому их разрушению не предшествует появление шейки. В случае и растяжения (рис. 3, б), и кручения они разрушаются отрывом и «аномальное» повышение пластичности при растяжении не наблюдается.

Некоторые пластичные, сильно упрочняемые металлы, имеют значительную величину относительного удлинения и образуют шейку малой кривизны. При растяжении (рис. 3, в) и кручении они разрушаются срезом с образованием волокнистого излома, также без «аномального» повышения пластичности в зоне шейки. Например, у меди М06 предельная деформация при растяжении меньше чем при кручении в 2,5 раза.

Ряд пластичных, сильно упрочняемых сталей и сплавов (12X18H10T, ЭП718, ЭИ961), имеют значительное относительное удлинение и образуют шейку со значительным радиусом кривизны. Величины предельных деформаций при кручении и растяжении у них имеют близкие значения.

В случае растяжения большинства сталей и сплавов наблюдается развитая шейка с малым радиусом кривизны. Такие металлы при растяжении разрушаются срезом-отрывом, с образованием зоны разрушения в виде конус-чашка (рис. 3, г), а при кручении - срезом. При растяжении у них наблюдается превышение меры пластичности  $\varepsilon_*$  по сравнению с кручением и даже сжатием.

Отмеченные расхождения препятствуют построению для металлов единой диаграммы пластичности и, следовательно, объективной оценке их деформируемости в процессах ОМД.

Для установления причин и величины повышения пластичности при растяжении некоторых металлов были проведены эксперименты по осадке, кручению и растяжению сплошных цилиндрических образцов, а также раздаче кольцевых образцов на деформируемой оправке. Использование кольцевых образцов с двух-трёхкратным отношением ширины к толщине стенки позволяет увеличивать деформацию к моменту появления шейки  $\varepsilon_p$ . В результате кольца из относительно малоупругих сплавов (ОТ4, ВТ9, ВТ25) разрушались, в отличие от растяжения цилиндрических образцов, без образования шейки (рис. 4).

По результатам испытаний металлов были получены значения предельных деформаций при сжатии  $\varepsilon_*(\eta = -1)$  и кручении  $\varepsilon_*(\eta = 0)$ . По этим значениям, с использованием аппроксимирующих выражений [1], определялись расчетные величины предельных деформаций при одноосном растяжении  $\varepsilon_*(\eta = +1)$ .

В результате исследований было установлено, что для металлов, не образующих шейки (P18, P6M5), а также образующих шейку малой кривизны и разрушающихся срезом (М06), расчетные значения  $\varepsilon_*(\eta = +1)$  совпали с экспериментальными. Для остальных исследуемых металлов расчетные и экспериментальные значения предельных деформаций при растяжении отличались, и степень такого несоответствия зависит от кривизны шейки.



Рис. 4. Вид кольцевых образцов, доведенных до разрушения раздочей на деформируемых оправках

Зависимость приращения меры пластичности  $\Delta \varepsilon_*$ , полученной как разница между экспериментальными и расчётными значениями предельной деформации при растяжении от отношения радиуса кривизны шейки к её диаметру при  $R/d_{ш} \geq 0,5$ , описывается уравнением прямой

$$\Delta \varepsilon_* = 0,85 - 0,57 R/d_{ш}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривизны шейки;  $d_{ш}$  – диаметр шейки к моменту разрушения.

Из выражения (1) следует, что с уменьшением радиуса кривизны шейки и отношения  $R/d_{ш}$  величина «аномального» приращения пластичности при растяжении увеличивается.

В процессе испытаний на растяжение установлено, что у ряда сталей и сплавов (ОТ4, ВТ9, ВТ25, ЭП866, ЭП718) задолго до разрушения на поверхности шейки появляются микротрещины, которые с развитием шейки перестают увеличиваться. В то же время появление аналогичных небольших трещин при кручении или одноосном сжатии сопровождается последующим разрушением без заметного повышения пластичности. Значения  $\varepsilon_*(\eta = +1)$ , определенные в месте появления микротрещин на поверхности шейки, хорошо согласуются со значениями, полученными расчетным путем.

Испытание на раздочу колец с отношением ширины к толщине стенки, равным 2...3, позволило довести до разрушения образцы из малопластичных сплавов ОТ4, ВТ9, ВТ25 без заметного образования шейки (рис. 4). При этом экспериментальные значения предельных деформаций также соответствовали расчётным значениям, полученным корректированием значений  $\varepsilon_*$  для растяжения цилиндрических образцов с помощью уравнения (1).

В результате проведенных исследований установлено, что появление шейки тормозит развитие трещин и повышает пластичность металлов. Причина этого повышения, очевидно, связана с изменением характера деформированного состояния. Развитие «пласта пор», приводящее к распространению трещин, происходит в узкой области вдоль полос скольжения. При деформировании линии скольжения направлены к свободной поверхности под углом  $\pi/4$ .

С появлением шейки и искривлением боковой поверхности направление линий скольжения изменяется, и накопление пластического разрыхления происходит по изменяющимся направлениям. Внутри шейки полоса скольжения разбивается на короткие отрезки и продвигается по зигзагообразной траектории. Изменение частиц металла, претерпевающих в данный момент наиболее интенсивное пластическое разрыхление, и приводит к повышению пластичности.

Повышение пластичности металлов в результате изменения направления плоскостей скольжения и рассеивания направленного пластического разрыхления подтверждается также рядом других экспериментов. Так, в случае испытаний в камере высокого давления при растяжении наблюдается более интенсивное повышение пластичности, чем при кручении [3]. Очевидно, что, наложение гидростатического давления приводит к повышению пластичности, а при растяжении – еще и к интенсификации шейкообразования. В результате уменьшается параметр  $R/d_{ш}$ , что и обеспечивает дополнительное приращение пластичности.

Существенно повышается пластичность и при немономонном деформировании (знакопеременная деформация, кручение – сжатие, сжатие – поперечное растяжение, срез и последующее

деформирование и пр.) [4, 5], для которого также характерно возникновение новых плоскостей скольжения и рассеивания направленного пластического разрыхления.

Следует отметить, что появление местного утонения на заготовках, в процессах обработки давлением является браковочным признаком, поэтому за предельную деформацию часто вполне обоснованно принимается величина  $\varepsilon_p$ . Если же заготовки в технологических процессах разрушаются без образования шейки, то для объективной оценки деформируемости можно использовать значения меры пластичности, полученные по результатам растяжения. При этом необходимо учитывать повышение пластичности, обусловленное образованием шейки и определяемое зависимостью (1).

На рис. 5 представлены диаграммы пластичности, построенные за результатами сжатия и кручения образцов с использованием известных аппроксимирующих выражений [1].

Достоверность диаграмм пластичности на участках  $-1 \leq \eta \leq 0$  и  $0 \leq \eta \leq 1$  проверяли путем осадки образцов с различными условиями трения на торцах: осадка между полированными поверхностями, между насеченными поверхностями и осадка с защемлением торцов в обоймах. По результатам измерения сетки (при поэтапной осадке) на боковой поверхности образцов в зоне максимального диаметра строили пути деформирования. Образцы доводили до разрушения, а затем с помощью критерия деформируемости [1] находили соответствующее разрушению экспериментально-расчётное значение  $\varepsilon_*$  на диаграмме пластичности в месте ее пересечения с путем деформирования. Величина расхождений у отдельных образцов находилась в пределах разброса экспериментальных данных, что подтверждает достоверность используемого аппроксимирующего выражения.

С использованием выражения (1) были получены экспериментально-расчетные значения предельной деформации при одноосном растяжении (рис. 5).

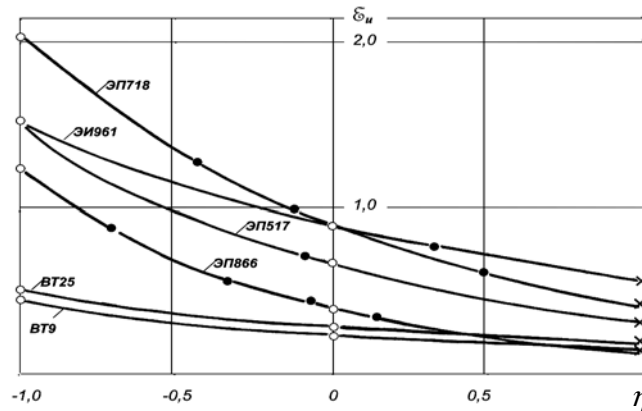


Рис. 5. Диаграммы пластичности сплавов: о – экспериментальные значения, ● – экспериментально-расчётные значения при осадке, х – экспериментально-расчётные значения предельных деформаций при растяжении

Как следует из рис. 5, учёт приращения пластичности в зоне образования шейки, обусловленного немонотонным деформированием, позволяет избежать неопределённости «аномального» повышения пластичности при растяжении.

**Выводы:** 1. В работе предложены способы испытания металлов на пластичность, обеспечивающие постоянство показателей напряжённого состояния и равномерность распределения НДС по деформируемому объёму образцов.

2. При растяжении повышается пластичность металлов в области образования шейки, что обусловлено изменением направления линий скольжения и накоплением повреждений по изменяющимся плоскостям. Поэтому при построении единой диаграммы пластичности необходимо реализовать такие виды испытаний, которые обеспечивают постоянное направление плоскостей скольжения.

3. Получено уравнение для определения приращения меры пластичности в зависимости от отношения радиуса кривизны шейки к ее диаметру, которое позволяет корректировать эффект «аномальной» пластичности в случае образования шейки при растяжении.

#### Л и т е р а т у р а

1. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – К.: Вища школа, 1983. - 176 с.
2. Михалеви́ч В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. – Вінниця: „УНІВЕРСУМ – Вінниця”, 1998. - 195 с.
3. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности при обработке давлением. - М.: Металлургия, 1984. - 144 с.
4. Матвийчук В.А., Егоров В.П., Михалеви́ч В.М., Покрас В.Д. Анализ деформируемости металлов при поверхностном упрочнении деталей// Кузнечно-штамповочное производство. - 1993. - №10. - С. 10-13.
5. Матвийчук В.А. Дослідження пластичності металів при немонотонному деформуванні // Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування”. - Луцьк: ЛДТУ. - 2007. – С. 87-92.

УДК 658.382.3

**О.М.Гунченко, К.М.Касьянова**

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ (СУОП) МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Обґрунтовано необхідність застосування мережевих методів при розробці заходів, що забезпечують координацію при реалізації рішень, що застосовуються в СУОП, з властивими їм характеристиками. Рис. 2, дж. 12.

**Аналіз стану питання.** Теоретичні дослідження проблеми розробки і використання функції вигідності при ухваленні рішень в професіях, пов'язаних з ризиком травмування в машинобудівному виробництві, наприклад в ковальських або штампувальних цехах, до теперішнього часу не проводилися. Є лише роботи [1...5], спрямовані на моделювання економічного ризику при ухваленні фінансових рішень. Але викладені в них теоретичні результати малоприменні для безпосереднього застосування при моделюванні і використанні в методологічній базі ухвалення рішень в СУОП за наявності комп'ютерних систем. Тому доцільно теоретично обґрунтувати рекомендації щодо кроків побудови і використання функції вигідності для машинобудівного підприємства при ухваленні операторських рішень в травмонебезпечних професіях з урахуванням технологічного передбачення [6], актуалізації нового завдання, що полягає в репрезентації майбутнього, яке не може інтерпретуватися як звичайне продовження минулого у зв'язку з тим, що це майбутнє може набувати принципово відмінні форми і структури, в порівнянні з тим, що було відоме у минулому. Особливістю такого підходу є те, що критерієм у виді одновимірного чинника виступають витрати на охорону праці. Це набуває особливої актуальності в умовах необхідності гармонізації СУОП з вимогами міжнародного стандарту OHSAS 18001:1999 [7].

**Постановка задачі дослідження.** При обґрунтуванні методу вирішення завдання необхідно з'ясувати питання – чи можна при логічно узгодженій поведінці людини-оператора в процесі ухвалення конкретних рішень на робочому місці керуватися принципом мінімізації збитку в травмонебезпечних професіях або необхідно визначити функцію вигоди.

**Матеріали і результати дослідження.** Якщо працівник схильний ухвалювати ризиковані рішення в процесі праці, то наслідки альтернативних дій оцінюються як  $U(x) = p(X < x)$ , де  $U(x)$  – вірогідність отримання збитку, що не перевищує  $x$ . Якщо  $a < x < b$ , то  $U(a) = 0$ , а  $U(b) = 1$  ( $a$  – ідентифікатор кожної дії оператора,  $b$  – математичне очікування нормально розподіленої випадкової величини).

Аналіз індивідуальних психофізіологічних особливостей, що враховують здатність і бажання працівника ризикувати в різних виробничих ситуаціях, вказують на необхідність їх урахування при професійному відборі в умовах ринкових відносин, коли «за все треба платити» працівникові або роботодавцеві.

Проблема ухвалення рішень в системі управління охороною праці (СУОП) на підприємстві полягає фактично в моделюванні дій як рядових робітників, так і відповідальних працівників організаційного управління, що ухвалюють рішення в реальних виробничих умовах, які в СУОП на машинобудівному підприємстві часто унікальні і нестандартні, але вони у своїй ситуативній основі мають загальні риси [8,9]:

- неповторність ситуації вибору;
- складний для оцінки характер альтернатив, які можна запропонувати;
- недостатня впевненість у визначеності наслідків дій із-за, наприклад, неповноти знань щодо поточних технологічних досягнень;
- необхідність урахування під час ухвалення рішень сукупності різноманітних чинників, які існують або можуть з'явитися в процесі їх реалізації;
- наявність працівників, що відповідають за ухвалення рішень.

Існують різні способи класифікації проблеми ухвалення рішень, але найбільш визнаною є розроблена Саймоном [10], згідно з якою всі проблеми ухвалення рішень розділяють на три класи.

До першого класу належать структуровані (цілком формалізовані) проблеми, в яких основні залежності визначені детально, можуть виражатися в числах або символах, легко програмується. Використання для їх вирішення математичних методів в більшості випадків пов'язане із значними труднощами.

Другий клас становлять неструктуровані неформалізовані, якісно виражені проблеми, для яких визначені лише важливі характеристики без кількісних залежностей між ними. Їх вирішення містить неформальні процедури, які базуються на інформації, що має високий рівень невизначеності. До таких завдань відноситься значна частина проблем прогнозування травматизму, планування заходів щодо охорони праці, організаційного управління їх виконанням у рамках технологічного передбачення. Такі проблеми в основному вирішуються за допомогою евристичних методів, що не мають впорядкованої логічної процедури пошуку рішення і цілком залежать від особистих характеристик людини (кваліфікації, інтуїції і т.п.).

До третього класу належать слабоструктуровані проблеми, що мають кількісні і якісні елементи, в яких переважають невизначені складові. Ці проблеми не мають методів вирішення на основі безпосередніх перетворень даних, для них характерна відсутність вичерпної інформації. До цього класу можна віднести завдання розподілу коштів на плановані заходи щодо охорони праці, вибору проектів наукових розробок з модернізації виробництва і т.д. Але головною особливістю слабоструктурованих проблем в СУОП є те, що їх концептуальна модель може бути створена лише ґрунтуючись на додатковій інформації, отриманій особою, що бере участь у вирішенні проблеми, в результаті аналізу загрозливих небезпек і розслідування нещасного випадку. А це не забезпечує об'єктивність такої моделі і є причиною невдач в застосуванні «класичних» математичних моделей при дослідженні слабоструктурованих проблем у СУОП. При цьому необхідно пам'ятати, що межа між структурованими і слабоструктурованими системами не завжди є чіткою і однозначною.

Проблеми ухвалення рішень в СУОП і поведінка працівників в процесі їх здійснення в даний час вимагають великої уваги у зв'язку з динамізмом навколишнього інформаційного середовища, збільшенням взаємозалежності рішень, необхідністю розгляду альтернативних варіантів. Тому особливої актуальності набуває питання підтримки ухвалення таких рішень на всіх стадіях їх розвитку – при визначенні цілей, розробці і ухваленні власне рішень, організації їх виконання і контролю. Перший етап структурної схеми підготовки і ухвалення рішень у СУОП (рис. 1) полягає у визначенні їх цілей і ґрунтується на аналізі стану і прогнозі розвитку процесу.

Такий аналіз дозволить виявити, в чому полягає проблемна ситуація (недосконалість технологічного процесу, конструктивні недоліки устаткування, організаційні причини, «людський чинник» і т.д.) і сформулювати цілі, які необхідно досягти для зниження ризику травмування працівника.

З кількісних моделей, які слід застосовувати для підтримки рішень в СУОП на підприємстві в двох основних випадках: для ухвалення рішень і вибору кращої послідовності дій, що приводять до їх реалізації; можна виділити: моделі математичного програмування, імовірнісні, статистичні, динамічні, пошуку, послідовності і евристичні.

Розробка заходів, що забезпечують координацію при реалізації розподільних рішень, вимагає застосування мережевих методів, заснованих на теорії графів і розглядають заходи як безліч подій і операцій. Їм властиві такі характеристики, як вірогідність реалізації рішень, імовірнісний характер тривалості робіт, їх вартість і необхідність певних ресурсів. На рис. 2, з урахуванням рекомендацій

[9], показаний варіант мережевого графіка планування робіт, що передбачаються на етапі функціонального аналізу завдання у СУОП на підприємстві з подальшим його автоматизованим вирішенням.

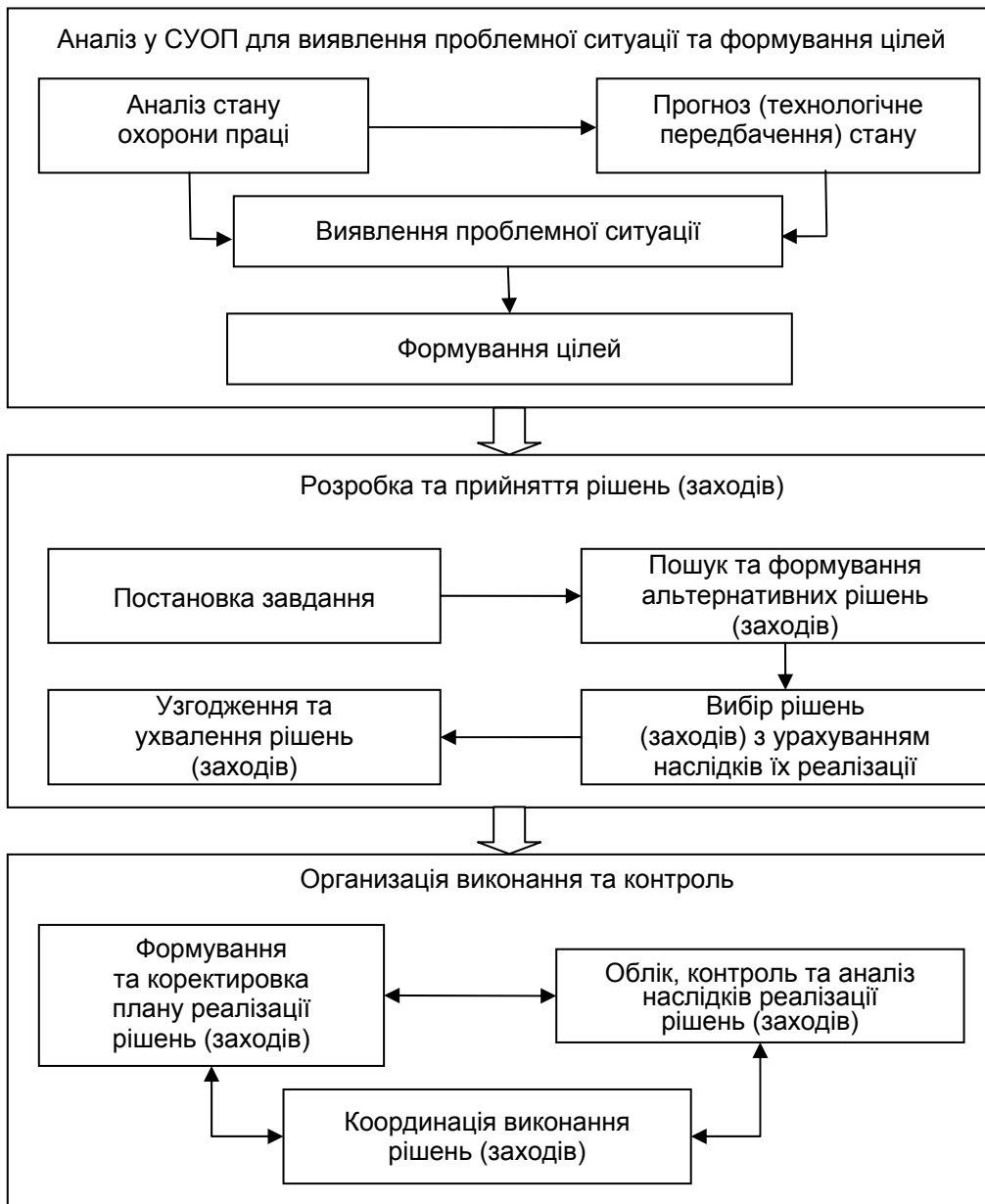


Рис. 1. Структурна схема підготовки і ухвалення рішень в СУОП на машинобудівному підприємстві

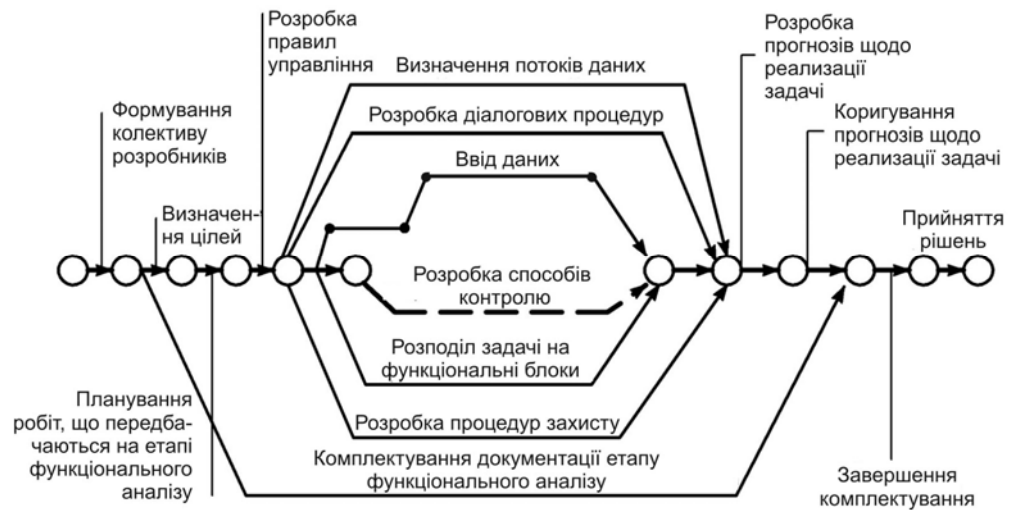


Рис. 2. Приклад мережевого графіка для планування робіт в СУОП на машинобудівному підприємстві, передбачених на етапі функціонального аналізу завдання: ○ – початок або кінець основного етапу; ● – точка розділення етапу; — критичний шлях

Відомо, що дескриптивні описові моделі ухвалення рішень в основному пов'язані з діями конкретних осіб. Але в умовах сучасної практики необхідно розглядати процеси вирішення і в масштабах всього підприємства, що відповідає концепції системного підходу, тобто розглядати всю СУОП на підприємстві як безліч зв'язаних проблем для ухвалення рішень. У формальнішому виді проблема вирішення завдань, пов'язаних з охороною праці, може бути сформульована, відповідно до вимог [11,12], таким чином:

«Задано  $Y, Z, H, N, U$ , потрібно  $Q$ »,

де  $Y$  – керовані вхідні початкові умови, елементи яких – вектори  $y$  мають одну і ту ж розмірність з невід'ємними елементами;  $Z$  – безліч некерованих вхідних початкових умов, що враховуються, елементи множини – вектори  $Z$  мають одну і ту ж розмірність, елементи векторів можуть мати нульові значення;  $N$  – безліч кінцевих результатів, яка є результатом взаємодії керованих і некерованих змінних;  $H$  – безліч операторів  $h$  з  $Y \times Z$  на  $N$ , за своїм значенням  $h$  характеризує взаємодію керованих і некерованих чинників, процес перетворення.

З погляду управління перетворенням, яке відповідає поставленому завданню,  $H$  можна зарахувати або до керованих, або до некерованих чинників, або ж розділити на дві підмножини:  $H'$  – керованих операторів,  $H''$  – некерованих операторів;  $Q$  – мета вибору підмножини  $N^* \subset N$  за допомогою критерію  $U$  ( $U$  – безліч критеріїв оцінки або переваг елементів безлічі  $N$  і вибору  $N^*$ ). У сучасних умовах моделювання є основним елементом побудови і використання системи підтримки рішень, які приймаються в СУОП, орієнтованих на моделі. Такі системи особливо ефективні, оскільки дають можливість прогнозувати травматизм на підприємстві.

Комп'ютерна інформаційна система підтримки рішень, які приймаються в СУОП на підприємстві, може використовуватися для підтримки різних видів діяльності в процесі підготовки і ухвалення управлінських рішень: вибору загальної стратегії дії в галузі охорони праці; розподілу відповідальності; оцінки результатів; ініціації змін; визначення фінансової, інвестиційної та іншої політики.

**Висновки.** Встановлено, що процеси прийняття рішень в СУОП машинобудівного підприємства необхідно розглядати відповідно до концепції системного підходу, тобто представляти СУОП на підприємстві як безліч пов'язаних проблем, які необхідно враховувати при прийнятті рішень.

### Література

1. Вітлінський В.В. Аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику. – К.: ДЕМІУР, 1996. – 212 с.
2. Ковальчук К.Ф. Интегральная поддержка принятия экономических решений. – Донецк: ИЕП НАН Украины, 1996. – 197 с.
3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
4. Моррис У.Т. Наука об управлении: Байесовский подход. – М.: Мир, 1971. – 304 с.
5. Ястремський О.І. Моделювання економічного ризику. – К.: Либідь, 1992. – 176 с.
6. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. – К.: Політехніка, 2005. – 156 с.
7. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами. Навч. посібник. – К.: Знання, 2007. – 367 с.
8. Как работают японские предприятия: Сокр. пер. с англ. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
9. Ситник В.Ф., Олексюк О.С. та ін. Системи підтримки прийняття рішень. – К.: Техніка, 1995. – 162 с.
10. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
11. Вилкас Э.И., Майминас Е.З. Решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 328 с.
12. Кононенко А.Ф., Холецов А.Д., Чумаков В.В. Принятие решений в условиях неопределенности // ВЦАН СССР. – М., 1991. – 197 с.

УДК 670.191.33

П.О.Марущак, Д.Я.Баран

#### ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТАТИЧНУ ТА ЦИКЛІЧНУ ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 25X1M1Ф

В статті досліджено вплив експлуатаційних температур ролика машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) на статичну та циклічну тріщиностійкість сталі 25X1M1Ф. Виявлено що підвищення температури випробувань з +20 до +375 °С практично не впливає на циклічну тріщиностійкість матеріалу, проте із зростанням температури до +600 °С швидкість поширення втомної тріщини зростає в 2...20 разів. Визначено параметри статичної в'язкості руйнування сталі 25X1M1Ф за нормальних та високих температур. На основі проведених розрахунків оцінено вплив температури на геометричні параметри валиків наплавлених на робочу поверхню ролика МБЛЗ. Рис. 3, табл. 1, дж. 7.

Ролики машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) працюють в екстремальних температурних режимах, що приводить до розтріскування їх робочої поверхні. Хоча електродугове наплавлення порошковим дротом на даний час є найбільш перспективним методом реновації роликів, проте відсутність даних про тріщиностійкість металу основи ролика зменшує достовірність оцінки залишкового ресурсу конструкції [1,2].

Відомі лише окремі праці, що враховують вплив експлуатаційних умов на тріщиностійкість матеріалу роликів МБЛЗ, що обмежує можливості оптимізації геометричних параметрів наплавленої поверхні [3-4]. Це обумовлює необхідність виявлення впливу основних експлуатаційних факторів, зокрема температури на циклічну тріщиностійкість матеріалу, що дозволить підвищити ефективність експертної оцінки стану ролика та забезпечити задану геометрію наплавленого шару. Важливим аспектом залишається визначення впливу температури на в'язкість руйнування матеріалу ролика за циклічного та статичного навантажень.

Основною метою даної роботи є виявлення впливу експлуатаційних температур на тріщиностійкість тримкого матеріалу ролика – сталі 25X1M1Ф та оптимізацію геометричних параметрів наплавленого шару.

### Технологічні особливості процесу наплавлення поверхні ролика МБЛЗ

Відомі методи наплавлення поверхні роликів як при виготовленні, так й знятих з експлуатації після переточування на новий (ремонтний) розмір. Зокрема, відомий метод утворення "розвантажувального рельєфу", коли поверхня ролика наплавляється по спіралі матеріалом із поліпшеними експлуатаційними властивостями. Це дозволяє підвищити довговічність роликів внаслідок гальмування тріщин термічної втоми, проте на відміну від біметалевих роликів у роликів з наплавленим захисним шаром тріщина може проростати з наплавки у тримкий шар. Отже, в'язкість матеріалу основи є одним з основних параметрів тримкою здатності таких роликів.

Ширину наплавлених валиків визначали за формулою [1]:

$$l_{\max} \leq (A \cdot K_{IC}^2 \cdot \cos \beta) - 5, \quad (1)$$

де  $A$  - константа,  $12,7551 \cdot 10^{-6} \text{ Н/мм}^2$ ;  $K_{IC}$  - в'язкість руйнування основного металу ролика із наплавленим захисним шаром,  $\text{Н/мм}^{3/2}$ ;  $\beta$  - кут нахилу наплавлених валиків до осі виробу, град;

Висоту наплавленого шару  $q$  визначали за формулою [1]:

$$q \geq 0,01D + 2, \quad (2)$$

де  $D$  - діаметр ролика після наплавлення, мм;

#### Методика досліджень

Основний вплив термічного циклу на швидкість РВТ відбувається в поверхневих шарах ролика, на відстані приблизно 5 мм, це дозволяє припустити, що для оцінки в'язкості руйнування матеріалу ролика можна використати дані ізотермічних випробувань [5]. Досліджували вплив експлуатаційних температур (+20, +375, +600 °С) ролика МБЛЗ на закономірності статичного та циклічного руйнування сталі 25Х1М1Ф. Дослідження проводили на компактних зразках, товщиною 19 мм, вирізаних з суцільнокованого ролика, знятого з експлуатації після 4500 плавов. Довжину поперечної втомної тріщини вимірювали на бічній поверхні зразка за допомогою оптичного мікроскопа МБС-10 зі збільшенням 70 крат.

Дослідження проводили на сервогідравлічній установці СТМ-100. Для випробувань в умовах високих температур застосовували високотемпературну термокамеру.

Коефіцієнт інтенсивності напружень за позацентрового розтягу компактних зразків визначали за формулою:

$$K = \frac{P}{t \cdot \sqrt{W}} \cdot Y, \quad (3)$$

де  $Y = \sqrt{1/W} \cdot (29,6 - 185(1/W) + 655(1/W)^2 - 1017(1/W)^3 + 639(1/W)^4)$ ;  $P$  - зусилля;  $t$ ,  $W$  - відповідно товщина та ширина зразка;  $l$  - довжина тріщини;

Для опису швидкості РВТ на другій ділянці діаграми використовували формулу Періса:

$$\left( \frac{da}{dN} \right) = C \Delta K^m, \quad (4)$$

де  $C$  і  $m$  - сталі матеріалу;  $\Delta K$  - розмах коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН),  $\Delta K = K_{\min} - K_{\max}$ , де  $K_{\min}$ ,  $K_{\max}$  - відповідно найменший та найбільший КІН в циклі навантаження.

Для визначення характеристик тріщиностійкості критичного КІН, критичного розкриття тріщини - КРТ) під час випробувань записували діаграму навантаження - розкриття берегів надрізу, переміщення вздовж лінії дії сили.

#### Вплив температури випробувань на циклічну тріщиностійкість

Аналізом кривих регресії, побудованих згідно рівняння (4) за експериментальними точками методом найменших квадратів, (рис. 1, а) свідчить, що збільшення температури випробувань від +20 і +375 °С не впливає на швидкість РВТ за  $\Delta K < 45 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ . В подальшому, із зростанням  $\Delta K$  від 60 до 80  $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ , швидкість РВТ в сталі 25Х1М1Ф при +375 °С, зростає від 2 до 10 раз порівняно з +20 °С, що особливо помітно проявляється в правій частині діаграми. Підвищення

температури випробувань від +375 °С до +600 °С приводить до зростання швидкості РВТ приблизно в 4,5 раза.

Одержані результати також надано у напівбезрозмірних координатах (рис. 1, б)  $\bar{V} - T$ , де  $\bar{V} = \frac{da/dN_i}{da/dN_{20}}$ ,  $da/dN_i$  - швидкість РВТ для досліджених температур,  $da/dN_{20}$  - швидкість РВТ для температури +20 °С [6]. Зростання температури може бути описане єдиною залежністю для всіх трьох досліджених температур в діапазоні  $34 < \Delta K \leq 64 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ .

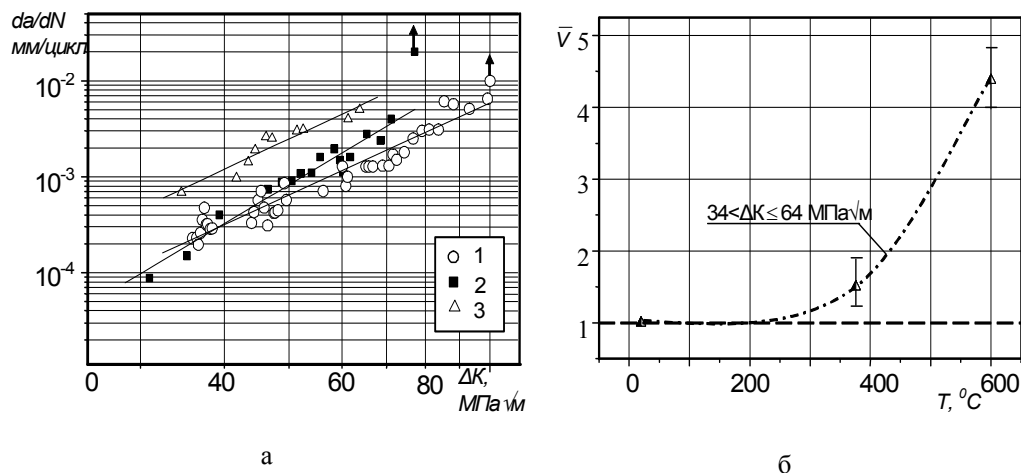


Рис. 1. Залежність швидкості РВТ в сталі 25Х1М1Ф за температур +20°С (1), +375 °С (2), +600 °С (3) від розмаху КІН

Таблиця 2

**Характеристики тріщиностійкості сталі 25Х1М1Ф**

Марка сталі	Температура, °С	Константи	
		ф-ла (4)	
		$C, \frac{\text{мм / цикл}}{(\text{МПа}\sqrt{\text{м}})}$	$m$
25Х1М1Ф	+20	$1,11 \cdot 10^{-3}$	3,16
	+375	$9,26 \cdot 10^{-11}$	4,09
	+600	$6,6 \cdot 10^{-9}$	3,26

На підставі граничних умов використання КІН для опису НДС у вершині втомної тріщини (ф-ла 5) випливає, що плоский деформований стан в дослідженому зразку зберігається для температури випробувань +20 °С до рівня  $\Delta K = 62,6 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ , при +375 °С до  $\Delta K = 50,8 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ , при +600 °С до  $\Delta K = 32,2 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ .

$$t \geq 2,5 \left( \frac{\Delta K}{\sigma_{02}} \right)^2, \quad (5)$$

де  $\sigma_{02}$  - умовна межа текучості матеріалу;

При значеннях КІН більше наведених вище у вершині тріщини реалізується плоский напружений стан і одержані залежності втрачають інваріантність щодо довжини тріщини і товщини зразка.

### В'язкість руйнування за статичного та циклічного навантажень

Результати випробувань на в'язкість руйнування надані в координатах «в'язкість руйнування-температура». Слід зазначити, що при +20 °С злами мали типово квазікрихкий характер без видимих «губ зрізу», причому стабільного зростання тріщини не спостерігали. Зразки руйнувались без видимого зростання тріщини (під час навантажування для спостереження за вершиною тріщини на поверхні зразка використовували мікроскоп із 70 кратним збільшенням). Відхилення діаграми від лінійної залежності пов'язане із пластичним деформуванням металу в вершині тріщини. Основна площина поверхні злому зразка утворена за механізмом крихкого руйнування квазісколенням.

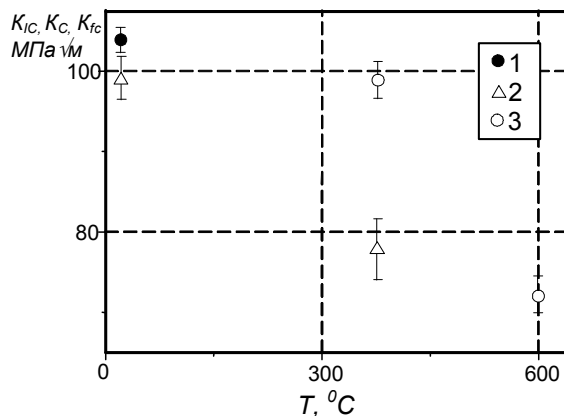


Рис. 2. Вплив температури на граничні параметри тріщиностійкості сталі 25X1M1Ф, (К<sub>IC</sub>-1 та виявлені К<sub>с</sub>, К<sub>IC</sub>-2,3)

Таким чином, за зовнішніми ознаками поведінки зразків відповідала руйнуванню за умов плоского деформованого стану. Проте, обмеження, рекомендоване для умов плоскої деформації (ф-ла 5), не виконувалось.

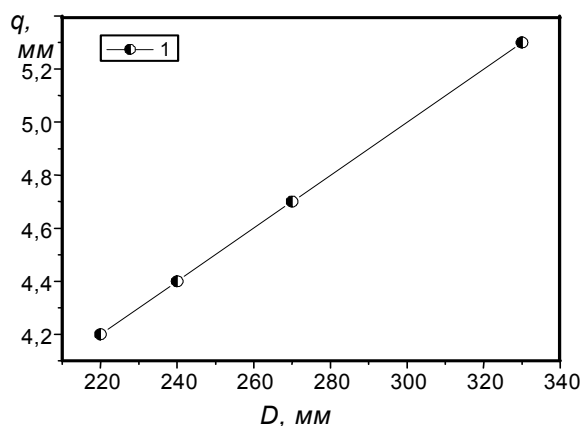
Температурні залежності критичних КІН для сталі 25X1M1Ф наведено на рис. 2. Як випливає з аналізу цих залежностей, із зростанням температури випробувань з 20 до 375 °С критичний КІН, К<sub>IC</sub>, К<sub>с</sub> зменшується з 106 до 98 МПа√м, а при +600 °С - знижується до 76 МПа√м, що можна пояснити зміною механізму руйнування [7]. Подібне зменшення в'язкості руйнування К<sub>IC</sub> спостерігали й для циклічного навантажування.

Сталь 25X1M1Ф за температури 20 °С руйнується за механізмом внутрішньозернового квазісколення з формуванням мікрофасеток, а з підвищенням температури випробувань до +375 °С руйнування стає повністю в'язким за механізмом ямкового відриву.

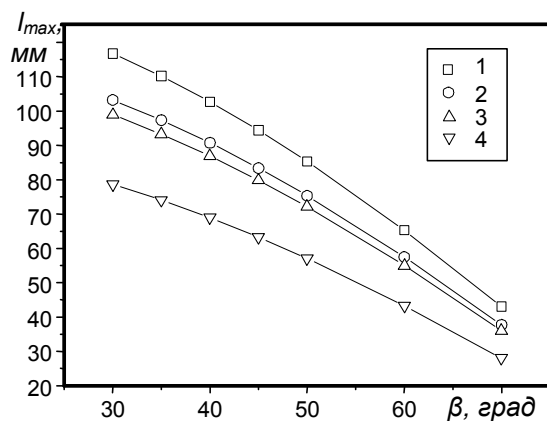
### Інженерний метод оптимізації конструкції ролика із урахуванням впливу температури

На рис. 3 наведено залежність максимальної ширини наплавленого валика від кута нахилу до твірної ролика. Виявлено, що із зростанням кута нахилу від 30 до 70 градусів, ширина валика зменшується приблизно в 2,5 раза. Крім того, із зростанням температури з 20 до 375 °С максимальна ширина валика зменшується в 1,2 раза. Урахування впливу циклічності навантаження на в'язкість руйнування матеріалу ролика призводить до зменшення ширини валика приблизно в 1,2 раза при +20 °С та до 1,5 раза при +375 °С.

Змінюючи кут нахилу наплавленого валика до осі ролика (ф-ли 1,2), можна впливати на задану критичну довжину тріщини, що може прорости в діаметральному напрямку. Із збільшенням кута між віссю та наплавленим валиком зростає траєкторія поширення тріщини за однакової ширини наплавлених валиків. Тому із зростанням кута нахилу валика до поверхні зменшується його ширина. Для одержання за один прохід валиків  $\geq 60$  мм можна використати стрічкові електроди суцільного перерізу та порошкові дроти [1,2].



а



б

Рис. 3. Взаємозв'язок параметрів несучого та наплавленого шарів ролика МБЛЗ:  
 а – залежність товщини наплавленого шару від діаметру основи ролика;  
 б – залежність ширини наплавленого шару від кута нахилу до твірної ролика із урахуванням в'язкості руйнування матеріалу для температури +20 °С -1,2 та + 375°С – 3,4

**Висновки.** Виявлено основні закономірності впливу експлуатаційних температур на циклічну та статичну тріщиностійкість сталі 25Х1М1Ф. Виявлено, що в дослідженому температурному діапазоні, при  $\Delta K < 45 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ , швидкість РВТ є інваріантною до температури випробувань. Проте, в подальшому, при зростанні  $\Delta K$  з 60 до 80  $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$  із підвищенням температури випробувань з +20 °С до +375 °С швидкість РВТ зростає у 2...10 разів.

Доповнено методику розрахунку геометричних розмірів наплавленого на поверхню ролика розвантажувального рельєфу із урахуванням впливу температури та циклічного навантаження конструкції. Це дозволить підвищити надійність експлуатації роликів із експлуатаційним дефектом.

Роботу виконано за рахунок бюджетних коштів Державного фонду фундаментальних досліджень, реєстраційний номер 0107U004213.

#### Література

1. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок / Ф.С.Домбровский, Л.К.Лещинский.-К.: Институт электросварки им. Е.О.Патона, 1995. -198 с.
2. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет. Л.В.Буланов, Л.Г.Корзунин, Е.П.Парфенов, Н.А.Юровский, В.Ю.Авдонин / Под. общ. ред. Г.А.Шалаева. - Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2003. - 320 с.

3. Наплавка роликов МНЛЗ / В.А. Коротков, И.Д. Михайлов, А.С. Веселов, В.Р. Тагильцева // Сталь. - №8. - 2003. - С. 60-63.
4. Harabuchi T.B. Overview of continuous caster roll service // Nippon Steel Technical Report № 840338. - 1984. - P. 44-58.
5. Гопкало А.П., Чернявский А.А. Методика экспериментальных исследований циклической трещиностойкости материалов в неизотермических условиях // Пробл. прочности. - 2005. - №2. - С.151-158.
6. Марущак П.О. Влияние высоких температур на скорость роста усталостной трещины в стали 25X1M1Ф // Материалы VI Международной научно-технической конференции “Динамика систем, механизмов и машин”, (13-15 ноября).- Омск.-ОмГТУ. - 2007. - С. 354-358.
7. Марущак П.О., Гладько В.Б., Баран Д.Я. Влияние температуры на микромеханизмы разрушения стали 25X1M1Ф при исследовании статической трещиностойкости // Материалы Международной научно-технической конференции “Деформация и разрушение материалов и наноматериалов – “DFMN 2007”. - М.: Наука, 2007. - С. 283-284.

**УДК 62: 519.673**

**В.А.Колесников**

### **РАЗВИТИЕ НОВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕРМАНИИ**

Приведен краткий обзор применения компьютерных программ и технологий в Германии, основанный на результатах стажировки в университете Отто-фон- Гурике (г. Магдебург). Приведены примеры применения графических пакетов для расчета параметров литейных процессов при получении отливок. Рассмотрены некоторые проекты института Фраунгофера (IFF). Рис. 6, ист. 16.

Научно-техническое развитие нашей цивилизации во многом определяется применением новых компьютерных технологий. Это позволяет существенно снизить временные затраты на разработку новых изделий при проектировании различных деталей, узлов, механизмов, конструкций и т.д. И если до недавнего времени компьютерные программы лишь частично могли охватить весь существующий спектр проблем, связанных с разработкой изделия, то уже сегодня предпринимаются беспрецедентные попытки совместить в одном пакете программ такие возможности, как построение фотореалистичных изображений объектов машиностроения, разработка технологии изготовления, расчет характеристик изделия (например, прочностных). Существует целый спектр программ, призванных решать многочисленные технологические задачи, что иногда затрудняет их выбор. В постоянно меняющемся технологическом мире очень важно, чтобы студенты технических специальностей могли работать одновременно в нескольких серьезных пакетах программ. Данная публикация призвана, немного расширить тезаурус знаний в этой области современных студентов технических специальностей.

В настоящее время эффективным считается применение сквозного параллельного цикла подготовки производства с использованием систем автоматизированного проектирования для создания изделия любой сложности. При таком подходе автоматизируется процесс проектирования и выпуска конструкторской и технологической документации, что позволяет создать систему конструкторско-технологического документооборота и электронного архива и, как следствие, существенно сократить цикл технологической подготовки производства [1].

Научная стажировка (благодаря факультету Европейских и Американских студий) автора данной работы позволила ознакомиться с применением современных компьютерных программ в учебном и научном процессе в университете Отто-фон-Гурике (OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG) (г. Магдебург) [2].

Так, на кафедре литейного производства и обработки металлов давлением, возглавляемой проф. Рудигером Бером (Rüdiger Bähr) [3, 4], в симуляционной лаборатории (где находится 1 - н сервер и 10 – ть компьютеров) с успехом применяются программные пакеты: Pro/ENGINEER, Euklid, Simtec/WinCast®, Flow-3D® [5 – 8]. Которые позволяют моделировать “поведение” сплава в процессе формирования отливки (например, в кокиле), рассчитывать параметры литниковопитающей системы, толщину стенки отливки, определять оптимальную температуру заливки жидкого сплава, проводить корреляцию между процентным содержанием легирующих элементов и

свойствами будущей отливки, определять физико-механические свойства и т.д. На рис. 1 представлены образцы моделирования будущей модели отливки бюста ученого Отто-фон-Гурике в программе Simtec/WinCast®.

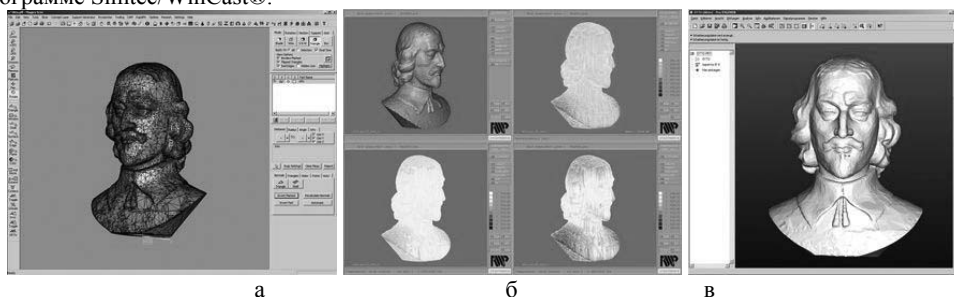


Рис. 1. Интерфейс программы Simtec/WinCast® показано: моделирование бюста будущей отливки – а, распределение температуры и термических напряжений – б, готовый вид будущей отливки – в [2]

Пакет SIMTEC/WinCast - СКМ ЛП разработан немецкой фирмой RWP GmbH. Он может использоваться для моделирования: литья под высоким и низким давлением, литья в кокиль, литья в песчано-глинистые формы, для непрерывного центробежного литья, литья по выплавляемым моделям.

Данная система позволяет рассчитывать: заполнение, затвердевание, образование усадочных дефектов, микроструктуру, механические свойства отливок. SIMTEC/WinCast имеет встроенные средства построения 3D модели, а также возможность импорта с помощью стандартных интерфейсов - VDA, STEP, STL и прямые интерфейсы с некоторыми CAD/CAM/CAE - системами (EUCLID3, Pro/Engineer, CATIA, UNIGRAPHICS, IDEAS). Имеется встроенный автоматический генератор FE сетки. Для WS под различные версии UNIX данная система носит название RWP-SIMTEC, а для PC на платформе NT - RWP-WinCast. Минимальные системные требования - 128Mb RAM, 2Gb HDD (из них 600 Mb под swap-файл) [8,9].

FLOW-3D - это CFD пакет общего назначения, способный моделировать большое разнообразие задач течения жидкости или газа. Хотя специализацией пакета является моделирование течений со свободной поверхностью, FLOW-3D является превосходной программой для моделирования ограниченных и внутренних течений. FLOW-3D обеспечивает высокоточное моделирование течений со свободной поверхностью, используя метод конечных объемов. Используемый в FLOW-3D метод FAVOR является уникальным, его нет в других CFD пакетах. FAVOR достаточно прост в использовании и обеспечивает высокую точность моделирования. FLOW-3D представляет собой пакет "все включено", т.е. не требует никаких дополнительных программ. Графический интерфейс пользователя связывает воедино постановку задачи (включая создание, импорт геометрии и генерацию сетки), препроцессинг, решение и обработку результатов, предлагая также несколько полезных утилит, таких как просмотрщик STL файлов, мастер решения и средства контроля за ходом расчета [10, 11].

Полученные студентами навыки работы в таких программах широко используются как в производственной практике, так и после окончания университета при дальнейшем трудоустройстве. Кафедра имеет различные хозяйственные темы с ведущими производителями автомобильной техники: Volkswagen, Porsche, Audi AG. Можно привести пример моделирования процесса формирования сложных отливок в кокиль, например, блока цилиндров или корпуса мотора для автомобиля (рис 2, а). Программы позволяют рассчитывать литниково-питающую систему, толщину стенки отливки, распределение температуры в отливке начиная с момента кристаллизации сплава. Окончательные расчеты позволяют рассчитывать физико-механические характеристики (например, значение предела прочности  $\sigma_{0,2}$ ) для различных участков отливки рис. 2, б. [12 –14]

22 ноября 2006 в "научной гавани г. Магдебурга" открылся научно-исследовательский центр – "Виртуальный исследовательский и тренировочный центр" (Virtual Development and Training Centre – VDTC). Он входит в состав института Фраунхофера фабричного производства и автоматизации (Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und automatisierung – IFF), который также занимается исследованиями в области виртуальной инженерии рис. 3, а [15].

Институт IFF - это партнер для заказчиков из промышленности и науки, в котором ведутся разработки в областях: логистики, виртуальной инженерии, автоматизации техники. Бюджет центра в 2006 году составил 13,5 миллионов евро. Остановимся на некоторых достижениях, разработанных в этом институте [16].

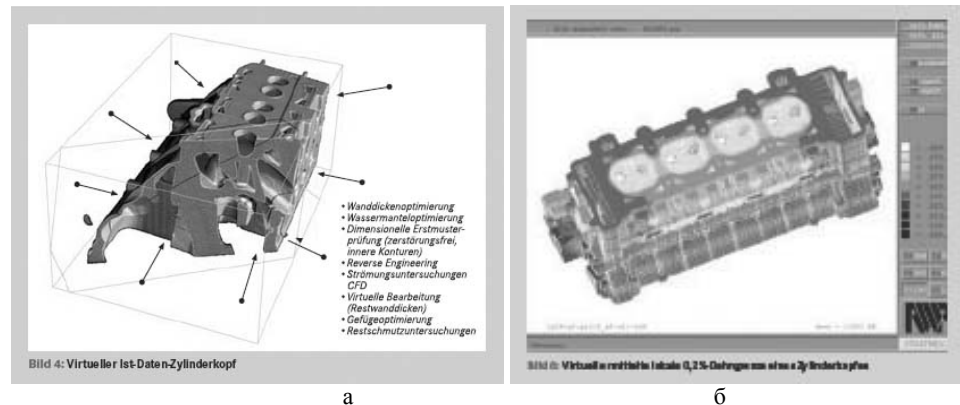


Рис. 2. Виртуальная модель цилиндра – а. Виртуально установленный локальный 0,2 пределов прочности % цилиндрической головки – б [5]

Проект “Роботы как машины инструменты. Механическая обработка с помощью промышленных роботов” (Einsatz des Roboters als Werkzeugmaschine - Bearbeiten mit Industrierobotern).

В институте разрабатывается программное обеспечение для промышленных роботов, которые используются для проведения сварочных работ (точечная сварка), снятия заусенцев, механической обработки поверхностей машин и механизмов, приготовления песчано-глинистых смесей для литейного производства (рис. 3, б). Также в институте разрабатываются: системы управления роботами (программируемые и основанные на 3 – D моделях, данных CAD/CAM), датчики для проверки качества работ проводимых роботами.

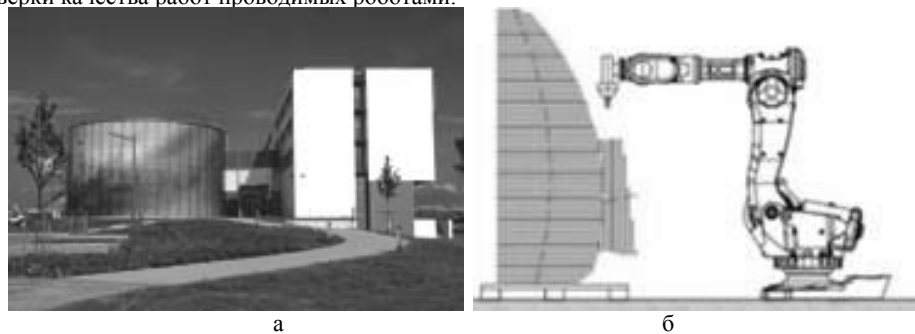


Рис. 3. Здание института (IFF), слева здание виртуальной лаборатории – а. Изображение робота для точечной сварки созданного в институте IFF – б

Проект “Трехмерная система измерения для качественного осмотра труб и брандспойтов” (3-D-Geometrievermessung von Rohr- und Schlauchleitungen).

Разработана технология "OPTOINSPEKT" геометрического осмотра труб в быту и на производстве. Полностью автоматизированный качественный осмотр подразделен на два шага: оцифровывание, анализ и оценка. Оцифровывание - это процесс бесконтактного измерения трехмерной геометрии труб. В результате создается так называемое трехмерное облако, состоящее из нескольких тысяч точек, что позволяет достаточно точно отслеживать дефекты в шлангах, трубах, брандспойтах и т.д.

Проект “Трехмерное измерение геометрии железнодорожных колес” (3-D-Geometrievermessung von Eisenbahnradsetsen).

Известно, что в процессе эксплуатации железнодорожные колеса изнашиваются. Однако изношенный профиль колеса может быть повторно восстановлен. Этому должно предшествовать предварительное исследование геометрии колеса.

Разработана измерительная система OptoInspect 3D\_Wheelset по автоматизированному измерению всех геометрических параметров железнодорожных колес. До этого подобные измерения проводились вручную, что не могло обеспечить сбор всех параметров. Осмотр происходит на машине, которая вращает колесную пару (рис. 4, а), в это время оптическая система датчиков проводит измерения, переводя профиль колеса в цифровой 3 D формат, и сравнивает полученные данные с соответствующим необходимым профилем (теоретическим). Система датчиков работает согласно принципу триангуляции и состоит из нескольких трехмерных датчиков, которые с помощью лучей исследуют профиль (поверхность) колеса. Система может измерять колеса любого диаметра.

Система позволяет провести следующие функциональные измерения:

- min., max. значения профиля колеса;
- радиальные отклонения;
- осевое отклонение;
- боковые отклонения;
- диаметр колеса;
- ширину колеса.

Автоматизированный учет всех геометрических параметров дает возможность провести объективный сбор данных через несколько минут, которые затем записываются в рабочую документацию.

Проект “Трехмерная проверка профиля материалов“ 3-D-Geradheitsprüfung profilierter Materialien.

В IFF разработана система OptoInspect 3D\_Straightness, - которая позволяет автоматически измерять профиль материалов непосредственно при их изготовлении. Особенно это актуально для профилей, имеющих необычную форму, таких как U-, I-, квадрат круглые профили. Как правило, такие профили изготавливаются вытеснением, давлением или прокаткой. В разных случаях “прямота” таких полуфабрикатов не всегда является достаточной перед дальнейшей механической обработкой. Поэтому система OptoInspect 3D\_Straightness призвана решить данные проблемы. Основной принцип осмотра основан на преобразовании в цифровую информацию исследуемой области профиля. Предусмотрена дополнительная система измерения, основанная на PSD (устройстве которое определяет (ощущает) положение объекта) элементы определяют отклонения продольной оси из линейного движения (вертикального и бокового, также измеряется угол оси). Система позволяет провести измерения различных секций профиля с точностью измерений: 10...100 мкм (от поверхности).

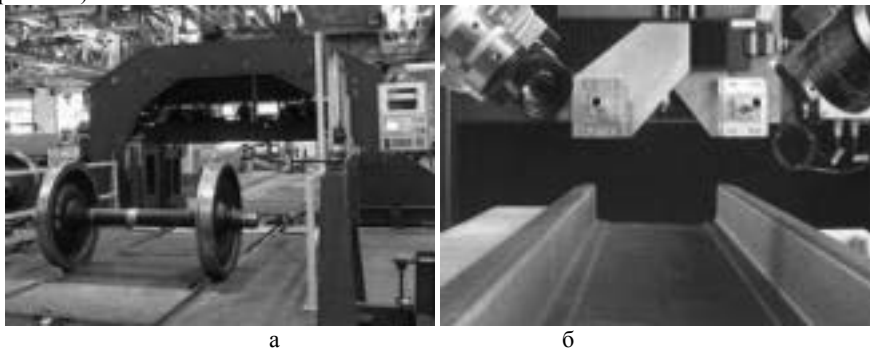


Рис. 4. Установка для геометрических параметров железнодорожных колес – а.  
Измерение поверхности профиля – б

Проект “Гибкое ручное трехмерное преобразование непрерывных величин в цифровые“ (Flexible, handgeführte 3-D-Digitalisierung).

Чтобы оцифровывать, например, фасонную поверхность, нужно провести большое число измерений, что приводит к значительным временным затратам. Однако разработанная в IFF система OptoInspect 3D-Flex, позволяет очень быстро перевести сложные по геометрической форме поверхности в цифровой формат. Для этого сенсор, прикрепленный к “измерительной руке” (без соприкосновения с объектом), изучает геометрию измеряемого объекта (рис. 5, а). В той последовательности, в которой проводились измерения, результаты отображаются на экране, что позволя-

ет контролировать весь процесс (рис. 5, б). Запись и хранение данных в различных форматах гарантирует дальнейшую беспрепятственную обработку в других приложениях.

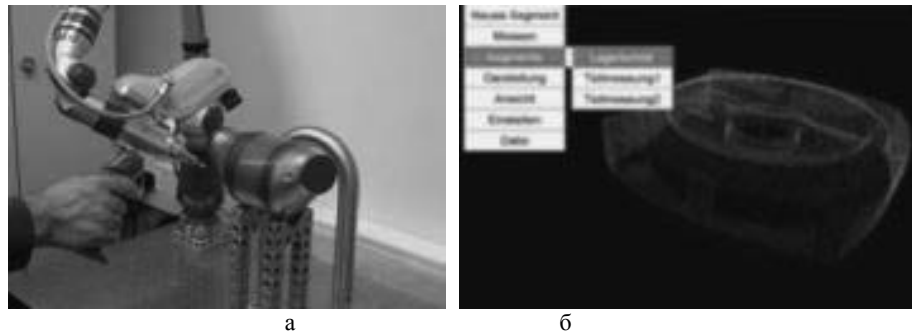


Рис. 5. Сенсорное измерение геометрической формы с помощью прибора сложных поверхностей – а. Графическое отображение оцифрованных данных на мониторе – б

Проект “SimGiess – учение при имитациях” (SimGiess - Lernen mit Simulationen).

Усложнение производства приводит к тому, что руководящие работники среднего звена должны принимать ответственные компетентные решения в производственных процессах. В проекте разработаны близкие к реальности производственные условия в виде 3-мерного цеха. Участвующие в проекте специалисты получают возможность принимать альтернативные решения в производственной практике. Они могут анализировать среднесрочные и долгосрочные шаги при принятии решений и уже через несколько минут подготавливать следующие шаги для оптимизации процесса. В качестве объекта выбран производственный процесс, соответствующий литейному цеху, который симулируется в разных сценариях. Учащийся имеет задание оптимизировать процесс литейного цеха с изменением различных параметров. Также формулируются учебные задания, которые относятся к определенным ситуациям, таким как авария, проблемы с сырьем, краткосрочная остановка поставки заказов, различные производственные трудности. Соответственно обучающиеся могут конфигурировать симулируемый процесс производства в сфере экономики, экологии и социальных аспектов. После прохождения определенного количества контрольных пунктов учета результаты представляются графически или экспортируются в таблицу Excel.

Проект “Виртуальная тренировка для технических специалистов” (VR-basiertes Training für technische Fachkräfte).

В настоящее время на производстве размещаются сложные машины и механизмы, их обслуживание требует высококвалифицированных технических работников. Специалисты должны быть в состоянии не только руководить процессом управления, но и принимать решения по их эксплуатации и ремонту. Однако на промышленных предприятиях используется дорогостоящее сложное оборудование, поэтому проводить комплексное обучение вместе с учебными ремонтными работами не всегда возможно.

В VDTС IFF разработали виртуально интерактивные (3D модели) учебные модули, которые содержат реальные обслуживающие элементы машин и механизмов, расположенных в виртуальном цехе, что позволяет проводить обучение специалистов в виртуальном пространстве, давать им конкретные рабочие задания, создавать рабочую обстановку. Например, на обучаемого одевают специальный шлем и перчатки, и он оказывается в виртуальном цехе. Учащийся способен самостоятельно проводить виртуально сборку, разборку сложных механизмов. Например, редуктора, в котором последовательно можно насадить на вал зубчатые колеса, шестерни, подшипники и т.д.

На основании инновационных учебных программ, независимо от времени и места, специалисты в симуляционных машинах могут изучать технические детали и механизмы, последовательность их сборки, проводить обслуживающие мероприятия, отслеживать особенности эксплуатации, изучать и устранять критические и аварийные состояния машин.

К неоспоримым преимуществам данного проекта можно отнести: экономию времени при обучении обслуживающего персонала; проводить быстрое переобучение персонала для новой техники, проводить обучение в среде близкой к реальности.

Несмотря на стремительное развитие техники и информационных технологий, на территории университета бережно сохраняется устаревшая техника (рис. 6).



Рис. 6. В университете бережно сохраняются машины и механизмы времен первой промышленной революции

Итак, мы становимся свидетелями очередной промышленной революции, заключающейся в переходе к использованию новых компьютерных технологий с элементами виртуальной реальности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шачнев С.Ю. Взаимодействие САПР CATIA, Pro/ENGINEER и ADEM в сквозном цикле создания изделия. Часть 1.// САПР и графика. – 2007. – №3. – С. 53 – 57.
2. <http://www.uni-magdeburg.de/Aktuelles.html>.
3. [http://www.ifq.ovgu.de/uut\\_b\\_uut\\_leiter.html](http://www.ifq.ovgu.de/uut_b_uut_leiter.html)
4. <http://www.ifq.ovgu.de/uut>
5. [http://www.ifq.ovgu.de/uut\\_b\\_uut\\_technik\\_lb\\_sl.html](http://www.ifq.ovgu.de/uut_b_uut_technik_lb_sl.html)
6. <http://www.pro-technologies.ru/product/Pro-ENGINEER>
7. [http://kostenlose.rbytes.net/euklid-dynageo\\_download](http://kostenlose.rbytes.net/euklid-dynageo_download)
8. <http://old.engineer.bmstu.ru/dev/news/lect-dev/lec5/1/simtec.html>
9. <http://www.flow3d.com>
10. <http://www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=3749>
11. <http://www.flow3d.com>
12. Neue Wege in der virtuellen Produktentwicklung / R. Bähr, F.Mnich, Hans-Christoph Saewert, D. Fiedler // Giesserei. – 2005. – № 10. – S. 30 – 33.
13. Todte M., Bähr R., Mnich F. Prognose des Einflusses von Gefügemerkmalen und Eigenspannungen auf die statischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften von gegossenen Motorkomponenten // Konstruieren+giessen. – 2005. – 30 – № 10. – S. 24 – 30.
14. Todte M., Bähr R., Honsel. C., Saewert H.– C. Wagner A., Virtuelle Bauteilentwicklung auf der Basis der Simulation des Fertigungsprozesses und Gussteigenschaften. Konferenzbericht: Deutscher Gießereitag München. Juni 2004.
15. <http://www.iff.fraunhofer.de>.
16. <http://www.iff.fraunhofer.de/en/iffdben/produkt.php>

В.Г.Федорченко, С.В.Подлесный

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ  
РАЗВАЛЬЦОВКИ ТОНКОСТЕННЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРУБ

В работе предложены зависимости в аналитической форме определения энергосиловых параметров развальцовки тонкостенных, осесимметричных труб. Рис. 2, ист. 4.

Для соединения труб в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, газодобывающей и энергетической отраслях промышленности применяется предварительная развальцовка концов труб для последующего их соединения. Так, для химических предприятий нефтеоргсинтеза требуются высокомоментные реверсивные приводы роликовых вальцовок на базе гидравлических или пневматических двигателей при развальцовке труб трубчатых печей в условиях монтажа и ремонта со следующей технической характеристикой: диаметр вальцуемых труб, мм – от 89 до 152; толщина стенки вальцуемых труб, мм – не более 14; максимальная степень развальцовки, % - 5.

Интенсивность сил для деформации развальцовочного участка труб можно определить методами классической механики с помощью основного уравнения динамики, принципа возможных перемещений и общего уравнения динамики.

Развальцовочный участок трубы, согласно вышеуказанной геометрии вальцуемых труб, можно представить тонкостенным цилиндром (оболочкой), у которого:  $h < \frac{r}{20}$  [1], где  $h$  - толщина стенки полого цилиндра;  $r$  - радиус цилиндра.

Наиболее приближенными направлениями исследования по отношению к настоящему являются, например, работы [2, 3, 4]. Указанные литературные источники посвящены общей теории инструмента для обкатки с целью проектирования и построения его рабочей поверхности для технологического оборудования с различными кинематическими схемами взаимодействия инструмента с заготовкой.

В качестве цели настоящих теоретических исследований была поставлена задача определения энергосиловых параметров развальцовки труб для инженерного расчета и последующего выбора типа и характеристик приводного силового устройства.

Интенсивность сил, необходимых для увеличения диаметра тонкостенных цилиндров можно представить как сумму трех составляющих:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (1)$$

где  $Q_1$  - интенсивность сил сопротивления пластической деформации;  $Q_2$  - интенсивность сил упругого сопротивления;  $Q_3$  - интенсивность действия инерционных сил.

Выводы необходимых закономерностей по силам сопротивления выполнены с помощью расчетных схем, приведенных на рис. 1 (а, б, в).

Согласно расчетным схемам рис.1 (а, б) можно записать силу сопротивления пластической деформации  $Q_1$ , действующую на элементарную площадь внутренней поверхности цилиндра:

$$Q_1 = dFq_1, \quad (2)$$

где  $dF$  - элементарная площадь внутренней поверхности цилиндра.

$$dF = dxrd\varphi. \quad (3)$$

Введя выражение (3) в (2), получим:

$$Q_1 = rq_1 dx d\varphi. \quad (4)$$

Элементарная работа силы  $Q_1$  на перемещении элементарного участка цилиндра:

$$dA_1 = Q_1(R - r), \quad (5)$$

где  $r, R$  - внутренний радиус цилиндра до и после деформации.

После введения выражения (4) в (5):

$$dA_1 = (R - r)rq_1 d\varphi dx,$$

откуда полная работа от действия силы  $Q_1$  будет равна

$$A_1 = \int dA_1 = (R - r)rq_1 \iint_{\varphi x} d\varphi dx. \quad (6)$$

После интегрирования (6):

$$A_1 = 2\pi l(R - r)rq_1, \quad (7)$$

где  $A_1$  - работа сил сопротивления пластической деформации;  $l$  - длина цилиндра.

Внутренними силами сопротивления от действия внешней силы  $Q_1$  являются силы  $N_1$  и  $N_2$  (рис. 1, а, б). Согласно симметрии сил  $N_1$  и  $N_2$  можно считать, что  $N_1 = N_2 = N$ , где

$$N = hdxG_T, \quad (8)$$

где  $G_T$  - предел текучести материала.

Тогда элементарная работа внутренних сил получает выражение:

$$dA_2 = N(R - r)d\varphi. \quad (9)$$

Подставляя выражение (8) в (9), получим:

$$dA_2 = hdxG_T(R - r)d\varphi. \quad (10)$$

Согласно результату (10) полная работа внутренних сил определится интегралом:

$$A_2 = \int dA_2 = h \cdot (R - r) \cdot G_T \cdot \iint_{\varphi x} d\varphi \cdot dx. \quad (11)$$

Окончательно после интегрирования правой части уравнения (11) полная работа внутренних сил сопротивления пластическим деформациям будет:

$$A_2 = 2\pi h(R - r)lG_T. \quad (12)$$

Согласно теориям упругости, пластичности и законам классической механики работа внешних сил, вызывающих ответное действие внутренних сил в механической системе, равна работе внутренних сил. На основании этого можно записать равенство:

$$A_1 = A_2. \quad (13)$$

Введя в равенство (13) результаты выражений (7) и (12), получим:

$$2\pi l(R - r)rq_1 = 2\pi h(R - r)lG_T. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) относительно  $q_1$ , после соответствующих сокращений получается формула для определения интенсивности сил пластического сопротивления:

$$q_1 = \frac{h}{r}G_T. \quad (15)$$

Для определения интенсивности сил упругого сопротивления целесообразно воспользоваться результатами [1]. Напряжение в осесимметричной цилиндрической оболочке:

$$G = \frac{PR}{h}, \quad (16)$$

где  $G$  - напряжение в оболочке;  $P$  - внутреннее давление на оболочку;  $R$  - внешний радиус оболочки;  $h$  - толщина оболочки.

Приближаясь к условию конкретно данной задачи, произведем замену параметров:

$$G = G_T \text{ (при расчете по предельному состоянию),}$$

$$P = q_2, \quad R = r + h.$$

Подставим указанные параметры в выражение (16) для определения интенсивности сил упругого сопротивления:

$$G_T = \frac{q_2(r + h)}{h}, \text{ откуда}$$

$$q_2 = \frac{h}{r+h} G_T. \quad (17)$$

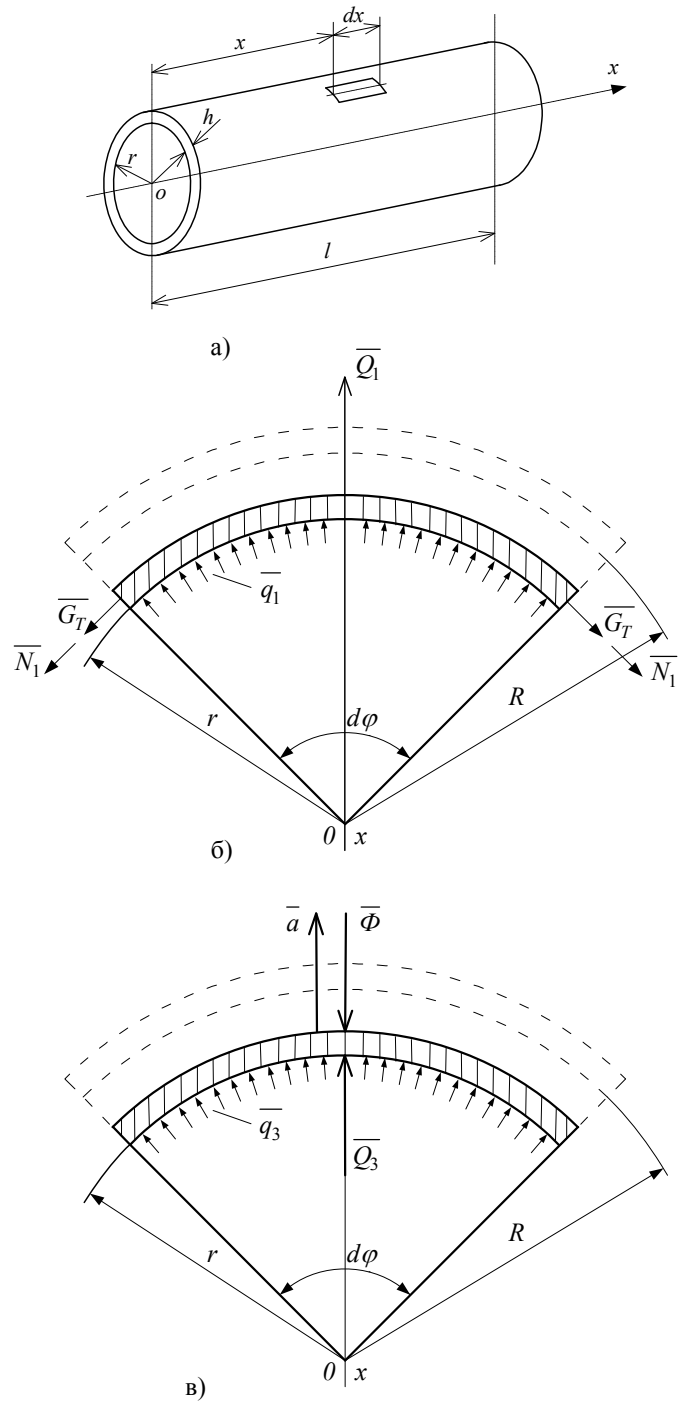


Рис. 1. Расчётная схема определения сил сопротивления

В знаменателе формулы (17) в случае тонкостенных цилиндров величина  $h$  является величиной второго порядка малости по отношению к их радиусу и поэтому формулу (17) можно привести к более простому виду:

$$q_2 = \frac{h}{r} G_T . \quad (18)$$

Определение погрешности из условий геометрии труб, приведенной выше, свидетельствует, что погрешность от упрощения формулы (17) путем замены ее на формулу (18) не превышает 1%, а это вполне допустимо в инженерных расчетах.

Для определения интенсивности сил преодоления сил инерции воспользуемся расчетными схемами, представленными на рис. 1, а, в.

Внешняя сила  $Q_3$  определяется согласно выражению:

$$Q_3 = r d\varphi dx q_3 . \quad (19)$$

Элементарная работа силы  $Q_3$  в результате деформации  $(R - r)$  будет равна:

$$dA_3 = Q_3 (R - r) . \quad (20)$$

После подстановки выражения (19) в (20):

$$dA_3 = q_3 r (R - r) d\varphi dx . \quad (21)$$

Проинтегрировав (21), получим:

$$A_3 = \int dA_3 = r(R - r) q_3 \int\int_{\varphi x} d\varphi dx . \quad (22)$$

Подставляя пределы интегрирования в выражение (22), получим окончательное выражение для определения работы внешней силы  $Q_3$ :

$$A_3 = 2\pi r (R - r) l q_3 . \quad (23)$$

Работу силы инерции определим с помощью принципа Даламбера:

$$\Phi = dma , \quad (24)$$

где  $\Phi$  - сила инерции, приложенная к выделенному элементарному объему (рис.1, в);  $dm$  - элементарная масса выделенного объема;  $a$  - ускорение выделенного объема.

Элементарная масса определяется следующим образом:

$$dm = \gamma r d\varphi dx h . \quad (25)$$

Подставим выражение (25) в (24). Тогда сила инерции получит вид:

$$\Phi = \gamma r h a d\varphi dx , \quad (26)$$

где  $\gamma$  - удельная массовая плотность материала.

Элементарная работа  $dA_4$  силы инерции равна:

$$dA_4 = \Phi (R - r) . \quad (27)$$

После подстановки выражения (26) в (27):

$$dA_4 = \gamma r (R - r) h a d\varphi dx . \quad (28)$$

Для определения полной работы силы инерции  $A_4$  проинтегрируем уравнение (28):

$$A_4 = \int dA_4 = \gamma r (R - r) h a \int\int_{\varphi x} d\varphi dx . \quad (29)$$

Окончательно после интегрирования (29):

$$A_4 = 2\pi \gamma r (R - r) h l a . \quad (30)$$

Работа сил инерции относится к категории внутренних сил, т. к. силы инерции противодействуют внешней силе  $Q_3$ . Это дает основание записать равенство работ внешних (23) и внутренних (30) сил:

$$A_3 = A_4 . \quad (31)$$

Согласно (31) получим уравнение:

$$2\pi r (R - r) l q_3 = 2\pi \gamma r (R - r) h l a . \quad (32)$$

После сокращения и решения уравнения (32) относительно интенсивности сил сопротивления от действия сил инерции  $q_3$  получим:

$$q_3 = \gamma a, \quad (33)$$

где 
$$a = \frac{V_0 - V}{t}. \quad (34)$$

В формуле (34):  $V_0$  - начальная скорость деформации;  $V$  - конечная скорость деформации;  $t$  - время процесса деформации.

В связи с тем, что конечную скорость деформации можно считать равной нулю, формулу (33) с учетом (34) можно переписать в виде:

$$q_3 = \gamma \frac{V_0}{t}. \quad (35)$$

Полагая, что изменение скорости деформации от начальной скорости до нуля происходит при малой деформации (5% при развальцовке труб) можно считать изменение скорости линейным. В этом случае формула (35) преобразуется к виду:

$$q_3 = \gamma \frac{R-r}{2t^2}. \quad (36)$$

На основании полученных выражений (5), (18), (36) согласно равенству (1) получим полную (суммарную) интенсивность внешних сил  $q$ , необходимую для деформации тонкостенного осесимметричного цилиндра:

$$q = 2 \frac{h}{r} G_T + \gamma \frac{R-r}{2t^2}. \quad (37)$$

С помощью полученной формулы (37) можно определить мощность  $N$  процесса развальцовки труб, удовлетворяющих условиям тонкостенности и осесимметричности. В этом случае удельная работа определяется выражением:

$$A = q(R-r). \quad (38)$$

Разделив уравнение (38) на время процесса развальцовки, получим его мощность:

$$N = \frac{R-r}{t} q. \quad (39)$$

Выводы. 1. С помощью основного уравнения динамики, принципа возможных перемещений и общего уравнения динамики получена зависимость интенсивности внешнего давления для развальцовки тонкостенных, осесимметричных труб в зависимости от их геометрических параметров и свойств материала.

2. Получена зависимость мощности, необходимой для развальцовки тонкостенных, осесимметричных труб как функция интенсивности внешнего давления, степени деформации и времени процесса.

3. Полученные зависимости, выраженные в аналитической форме, могут найти применение в инженерных расчетах при определении энергосиловых параметров развальцовки тонкостенных, осесимметричных и цилиндрических тел.

#### Л и т е р а т у р а

1. Соппротивление материалов / Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л., Попко В.Г., Уманский Э.С. – Киев: Высшая школа, 1986. - 775 с.
2. Капорович В.Г. Обкатка в производстве металлоизделий. – Москва: Машиностроение, 1973. - 167 с.
3. Капорович В.Г. Поиск новых технологических решений в области обкатки трубчатых заготовок: Вестник машиностроения, – 1983. – №9. 6 с.
4. Рыжиков В.С., Удовенко В.К. (под редакцией). Производство изделий машиностроения горячей обкаткой. – Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, 2006. - 283 с.

О.М.Климова, Н.А.Касьянов

### ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТНИКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье на основе анализа вторичного воздействия вредных производственных факторов на организм человека показана необходимость реконструкции цеха машиностроительного предприятия. Рис. 1, табл. 1, ист. 6

**Анализ состояния вопроса.** Согласно данным ООН [1] 45% населения планеты, т.е. почти 3 млрд. человек составляют рабочую силу мира, которая поддерживает материальную и экономическую основу общества. Сохранение здоровья рабочих – это не только предпосылка для высокой производительности труда и повышения благосостояния, но и залог устойчивого социально-экономического развития стран. Последствия сложной экономической и социально-политической обстановки в Украине, её нестабильность проявляются в крайне низкой рождаемости, высокой смертности и заболеваемости населения.

Одним из важнейших направлений экономической и социальной политики Украины является обеспечение широких возможностей для высокопроизводительной работы и улучшения условий труда. Но, к сожалению, на многих предприятиях уровни опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах не соответствуют требованиям стандартов безопасности.

В последнее время появились публикации, посвященные исследованиям производственного травматизма и необходимости учета его влияния на различные показатели хозяйственной деятельности. Так, в [2] рассмотрены основы влияния состояния охраны труда на экономические показатели работы предприятий; в [3] - проблемы определения стоимости человеческой жизни из-за профессионального риска; в [4] - причинно-следственные связи травматизма в сельском хозяйстве; в [5] - комплекс моделей, учитывающих влияние различных показателей машиностроительного предприятия на мероприятия по охране труда; в [6] - эффективность управления охраной труда на предприятиях с использованием информационно-аналитической поддержки планирования трудовых мероприятий.

**Постановка задачи.** Как видно из краткого анализа последних публикаций, проблемы охраны труда стали объектом разностороннего анализа. Но, при этом, если и идет речь о комплексном подходе к учету одновременного влияния на человека нескольких факторов, то это делается без подробной аргументации "вклада" каждого из них в наступающие негативные последствия. Поэтому представляется целесообразным исследовать на конкретном примере действующего предприятия г. Луганска, с учетом фактической планировки одного из участков, влияние разнообразных вредных производственных факторов на рабочих местах.

**Материалы и результаты исследования.** Анализируемым является предприятие с мелкосерийным типом производства и количеством работников - 277 человек. Состояние условий труда на нем за последние годы представлено в табл. 1. На предприятии функционируют такие цеха: холодной штамповки, по ремонту контрольно-измерительных приспособлений, инструментальный, механический, заготовительный и другие. Одним из них с наиболее ярко выраженными проявлениями вредных и опасных производственных факторов является механический, включающий в себя гальванический и участок по переработке и полимеризации изделий из композиционных материалов.

Т а б л и ц а 1

Состояние условий труда на предприятии

Год	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Состояние условий труда</b>								
Общее количество работников	363	337	306	298	290	278	282	277
в том числе женщин, чел.	151	149	132	129	125	122	127	136
Занятые в условиях, которые не отвечают санитарно-гигиеническим нормам (всего/ж), чел.	66/36	61/32	41/23	37/23	37/22	32/18	43/21	43/21

из них, работают под воздействием: повышенного уровня шума, инфразвука, ультразвука	13/7	11/8	8/7	8/7	12/8	9/7	9/7	9/7
запыленности воздуха рабочей зоны	4/1	3/1	4/2	5/2	10/2	7/2	7/2	7/2
загазованности воздуха рабочей зоны	49/29	44/30	31/15	27/15	27/14	23/12	24/13	23/13
превышения установленных нормативов: тяжести труда	12/-	8/-	4/-	-	2/-	6/-	6/-	6/-
напряженности работы	12/8	10/8	-	-		2/-	2/1	2/1
неудобной (фиксир.) рабочей позы					10/3	8/2	8/2	8/2
микроклимата в помещении					23/17	17/12	18/13	18/13

Технологический процесс нанесения гальванопокрытий характеризуется в соответствии с ГОСТ 12.0.003-80 наличием активных по характеру воздействия на организм человека-оператора вредных производственных факторов - шума, вибрации, ультразвука, электрического поля и вредных токсичных веществ.

На рис.1 представлен фрагмент схемы планировки оборудования и размещения рабочих мест участка сварки лейнеров в цехе изготовления баллонов.

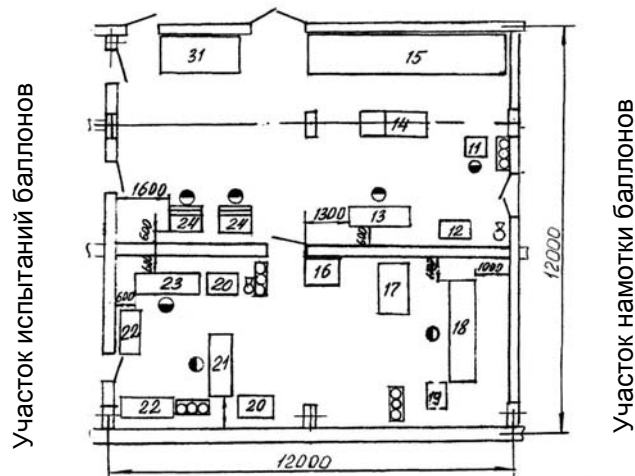


Рис. 1. Фрагмент схемы планировки оборудования цеха изготовления баллонов БМП:

- 11 - установка пневмоиспытания лейнеров; 12 - стол контролера; 13 - станок для зачистки баллонов; 14, 15, 31- шкафы для хранения деталей БМП и материалов;  
16 - плита разметочная; 17- верстак слесарный; 18 - станок для сварки;  
19 - установка аргоно-дуговой сварки УДГ-350; 20 - выпрямитель; 21 - станок для сварки (1Е61М);  
22 - верстак слесарный; 23 - станок для сварки (ИГ1М); 4 - вальцы трехвалковые

На рабочих местах в зоне установки аргоно-дуговой сварки поз. 19 и зачистки баллонов поз. 13 действуют такие вредные и опасные производственные факторы, как электромагнитное поле, шум, вибрация и запыленность. Наличие этих факторов влечет за собой увеличение негативного воздействия паров, дыма и сварочных аэрозолей на центральную нервную систему рабочих, нарушение артериального давления, состава и свойств крови. Учитывая высокую плотность размещения оборудования на участке, наличие перегородок и стен, ограничивающих пространство, а также то, что он является «проходным» для перемещения работников и материалов на соседний участок испытания баллонов, весьма высока вероятность получения механических травм.

Анализ профессиональных заболеваний у работников механического цеха за 2000 - 2006 гг. показывает, что кроме типичных – нарушений состояния здоровья, вибрационной болезни, поражения суставов, снижения остроты слуха, гипертонической болезни - наблюдаются и такие, как

головная боль, нарушение сна, ухудшение памяти, депрессия, раздражительность, боль в области сердца.

Выполненный анализ показывает, что с точки зрения охраны труда требуется реконструкция механосборочного цеха с целью обеспечения прямооточности технологического цикла и устранения отмеченных недостатков. А безопасность труда при нанесении гальванических покрытий достигается в результате внедрения комплекса технологических, строительно-планировочных, санитарно-технических и медико-профилактических мероприятий. Для снижения уровня шума на участке целесообразно применять звукоизолирующие ограждения, кожухи, экраны, кабины, глушители шума. Для уменьшения вибрации рекомендуется использовать виброгашение, виброизоляцию, вибродемпфирующие покрытия. Во всех отделениях гальванического участка должна использоваться механическая приточная и местная вытяжная вентиляция для удаления выделяемых газов, паров и пыли. Комплекс трудовых мероприятий, проводимый на предприятии за последние 10 лет, позволил снизить уровень профзаболеваний на 8-10%. При этом вторичные проявления вредного воздействия шума, вибрации, электромагнитных полей и химических веществ на здоровье работников практически не снизились.

**Выводы.** Представленные статистические данные о действующих опасных и вредных факторах и их воздействия на организм человека являются основой для дальнейших исследований и разработки комплекса мероприятий по охране труда и снижению уровня профессиональных заболеваний. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что для снижения уровня профессиональных заболеваний необходимо учитывать прямое комплексное воздействие вредных и опасных производственных факторов на работников.

#### Л и т е р а т у р а

1. Измеров Н. Здоровье рабочего в новых экономических условиях // Охрана труда и социальное страхование. – М., 2001. – №10. – С. 55-59.
2. Сухаревська О.М., Касьянов М.А., Медяник В.О. Основи впливу охорони праці на економічні показники роботи підприємства// Вісник СНУ ім. В. Даля. - Луганськ, 2005. – ч 2.- С. 11-16.
3. Брюханов А., Мнухин А. Управление безопасностью труда в горной промышленности// Охрана труда, 2007. - №9. - С. 34-36.
4. Костенко О.М. Удосконалення методів і засобів з комплексного аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму у сільськогосподарському виробництві: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01/ НДЮП. - К., 2002. - 23 с.
5. Ступницька Н.В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничого травматизму на підприємствах машинобудування: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01/ДУ "Львівська політехніка". - Л., 1999. - 22 с.
6. Кружилко О.Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01/НДЮП. - К., 2001. - 20 с.

## АНОТАЦІЇ

1. **Касьянов Н.А., Медяник В.А., Гунченко О.Н., Вишневский Д.А.** Проблемы состояния и необходимости совершенствования системы управления охраной труда в отрасли машиностроения // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Приведен анализ состояния травматизма в машиностроительной отрасли и указано на необходимость определения цели любого предприятия как «Безопасное производство». Рис. 1, табл. 3, ист. 15.

2. **Стоянов А.А., Бурко В.В., Гладушин В.В., Шенкман Г.Л., Мацевич В.М.** Анализ способов модификации поверхности инструмента наноструктурированием и насыщением твердыми смазками // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Выполнен анализ современных способов поверхностной пластической обработки наноструктурированием, которые допускают одновременное насыщение поверхности твердыми смазками с целью разработки способов модификации поверхности металлообрабатывающего инструмента для повышения его износостойкости и надежности. Рис. 5, ист. 7.

3. **Шалевська І.А., Тихонович В.І.** Формування структури високохромистого чавуну при термічній обробці // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Досліджений вплив ряду режимів термічної обробки на зміну мікроструктури комплексно-легованих хромистих чавунів. Кількість мартенситу залежить як від температури нагріву, так і від швидкості охолодження. Виявлено, що в результаті нагріву аустеніт володіє різною здібністю до розпаду, а це впливає на фазовий склад чавунів, мікроструктуру і його властивості. Рис. 3, дж. 4.

4. **Волкова С.А., Колодяжна Л.Г.** Вплив термічної обробки на структуру та властивості зубчатих коліс локомотивів зі сталі 45ХН // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті наведено результати експериментів з визначення оптимального режиму ТВЧ загартовання, який дозволяє одержати загартований шар з однаковою товщиною по впадині, перехідній зоні та у середній частині зуба. Рис. 9, табл. 2, дж. 7.

5. **Гедрович Д.А., Касьянов М.А., Гедрович А.І.** Проблеми при атестації робочих місць, пов'язаних зі зварюванням // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Показано необхідність обліку в показниках, що характеризують умови праці зварювальників при атестації їхніх робочих місць, класифікаторів джерел і причин травмуючих факторів. Табл. 1, дж. 4.

6. **Чернецкая Н.Б., Соломина Е.В.** Усовершенствование процесса составления составов железнодорожного узла применением вариантной технологии // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статье описана главная задача железнодорожного транспорта и вариантная технология как усовершенствование составостроения. Проведен анализ предложенной модели, который показал, что на расходы больше всего влияют простои вагонов и масса состава при выполнении маневровой и поездной работы. Рис. 2, ист. 5.

7. **Сидоренко І.І., Гутиря С.С., Носко П.Л.** Вільні коливання пасивних віброізолюючих пристроїв з механічним зворотним зв'язком // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Представлено методику і результати побудови кістякових кривих, що дають інформацію про вільні коливання віброізолюючих пристроїв з механічним зворотним зв'язком. Показано, що зв'язок між амплітудами й частотами коливань пристрою залежить від поліноміальної характеристики відновлюючої пружної сили. Наявність на характеристиці ділянок відповідних до квазінульової жорсткості пристрою визначає діапазони квазінульових і комбінованих частот вільних коливань. Рис. 5, дж. 7.

8. **Жданов С.О., Жданова М.М.** Вивчення механізму руйнування органічних покриттів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Розглянуто механізм руйнування покриттів, що захищають обладнання від атмосферного впливу. Показано, що гідрофільна та гідрофобна природа розчинників допомагає пришвидшенню абр гальмуванню процесу руйнування покриттів. Алкілацетати визнані найкращими розчинниками, що мають необхідну комбінацію гідрофобних властивостей. Дж. 5.

9. **Жидков А.Б., Паненко Р.Н.** Методика дослідження АЧХ у процесі віброобробки // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Викладено основи методики вивчення АЧХ зразків, що дозволяє визначити зміни, що відбуваються в процесі їх віброобробки. Наведено схему установки й спеціалізовані засоби зміни. Рис. 4, дж. 11.

10. **Пітельгузов М.А., Черних А.В., Гунченко О.М.** Проблеми профілактики травматизму на залізничному транспорті підприємств // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті розглядаються специфічні особливості профілактики травматизму при організації перевезень вантажів на промисловому залізничному транспорті підприємств. Дж. 4.

11. **Павлов А.І., Шишов В.П., Філь П.В., Карпов О.П.** Обчислення приведеного радіуса кривизни в зубчастому зачепленні // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті розглянуто питання про обчислення приведеного радіуса кривизни в зубчастому зачепленні незалежно від виду контакту й самого зачеплення. Визначено універсальну форму запису формули для обчислення приведеного радіуса кривизни. Отримано ще одне підтвердження доцільності застосування еволютного зачеплення. Рис. 3, дж. 5.

12. **Колодяжний П.В.** Інтенсифікація обробки сталі 12Х18Н10Т вільними абразивними часточками з використанням хімічно активних домішок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статті наведено результати досліджень з вивчення впливу механічної і хімічної дії на величину як стаціонарного потенціалу, так і потенціалу зачищеного металу, а також на якість обробленої поверхні і питоме знімання металу сталі 12Х18Н10Т. Рис. 13, дж. 2.

13. **Пронин М.А., Заика В.С.** Методика расчета неприводных конвейеров на воздушной подушке с наклонными цилиндрическими каналами // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Изложена методика расчета основных параметров неприводных конвейеров на воздушной подушке с наклонными цилиндрическими каналами. Рис. 1, табл. 1, ист. 3.

14. **Рудь В.Д., Божко Т.Е.** Исследование шероховатости поверхности при шлифовании спеченных пористых материалов. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Приведена методика прогнозування шероховатості поверхні спечених порошкових матеріалів після шлифування. Установлена імперическа зависимость для определения шероховатости поверхности с уточненными коэффициентами от параметров, что на нее влияют, построены графические зависимости. Рис. 1, табл. 2, ист. 4.

15. **Колибачук А.А., Касьянов Н.А.** Усовершенствование эксплуатационных характеристик установок пожаротушения // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статье приведена схема установки порошкового пожаротушения, что обеспечивает вибрационную подготовку и транспортирование пожаротушающего порошка. Приведено математическое моделирование движения его смеси с воздухом в проточной части установки и вибрационного восстановления текучести порошка. Рис. 1, ист. 25.

16. **Тараричкін І.О.** Програмування режимів при багатопрхідному дуговому зварюванні поздовжніх стиків обичайок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Для випадку багатопрхідного зварювання поздовжніх стиків обичайок розглянуто особливості формування шва й можливості забезпечення якості зварних з'єднань. Сформульовано закон зміни швидкості подачі електродного дроту за довжиною з'єднання. Запропоновано алгоритм контролю геометрії оброблення, підготовки під зварювання й реалізації зварювального процесу. Рис. 7, табл. 8, дж. 6.

17. **Сидоренко І.І., Гутыря С.С.** Вынужденные колебания механической системы с двумя участками комбинированной упругой характеристики // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Рассмотрены вынужденные колебания в механической системе с виброизолирующим устройством, которое позволяет реализовать упругую характеристику с двумя комбинированными участками. Установлено, что резонансный процесс в такой системе происходит на фоне общего ограничения амплитуды колебаний благодаря явлению «скачка» и не зависит от направления прохода резонанса. Рис. 4, ист. 5.

18. **Шижкін О.О.** Тепловий розрахунок шківних // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Запропоновано методику розрахунку теплових та електричних параметрів шківних електромагнітних залізвідділювачів, яка урахує конструкцію електромагніта та умови віддачі тепла на його поверхні. Рис. 2, дж. 5.

19. **Харламов Ю.О., Шевченко О.В.** Математична модель процесу розчинення ядра у плакуючій оболонці часток при напилюванні композиційних порошоків // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Розроблена математична модель процесу дифузійного розчинення ядра у плакуючій оболонці часток при напилюванні плакованих композиційних порошоків. Запропоновано комп'ютерний варіант реалізації розробленої математичної моделі. Дж. 4.

20. **Чернецкая Н.Б., Калашникова Ю.В.** Математическая постановка задания концентрации грузопотоков на опорных железнодорожных станциях // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

нального університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Рассмотрены математические методы решения задания повышения уровня использования технических средств станций. Наиболее эффективной является концентрация грузопотоков на меньшем количестве станций. Применение этого метода позволяет путем определения оптимального уровня концентрации грузопотоков на станции сократить число станций, выполнить рациональное распределение объемов работы между станциями, усовершенствовать размещение железнодорожных станций и оптимизировать взаимодействие магистрального и промышленного железнодорожного транспорта. Ист. 5.

21. **Арліньський О.Ю., Дейнека І. Г., Мичко А.А., Гуляков В.П.** Метод оцінки властивостей термостабільного пакету // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті розглянуто нестационарні процеси теплопередачі в теплоізоляційному пакеті і запропоновано методіку апроксимації залежності температури на внутрішній стороні пакету від теплофізичних властивостей матеріалів, що входять в його склад, товщини пакету і часу. Рис. 2, табл. 4, дж. 6.

22. Лагута В.І., Хінчагов Г.В., Гутько Ю.І., Рюдигер Бер. Фізико-хімічні особливості та принципи високого легування чавунів марганцем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Узагальнено та проаналізовано фізико-хімічні характеристики марганцю, його поведінку в сплавах заліза, можливі принципи легування чавунів. Табл. 2, дж. 18.

23. **Касьянов Н.А., Малеткин В.Н., Друзь О.Н., Медяник В.А., Сало В.И.** Системный анализ безопасности жизнедеятельности // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статье на основе системного анализа показаны подходы к методам определения вероятности возникновения опасностей, возможных в Украине, как способов предупреждения чрезвычайных ситуаций. Рис. 3, ист. 3.

24. **Басов Г.Г., Можейко А.В.** Оцінка хімічного складу і механічних властивостей сталей 20Л і 25Л литих колісних центрів рухомого складу залізниць // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статті представлені результати порівняльного аналізу хімічного складу і механічних властивостей литих колісних центрів, що виготовляються у ВАТ «ХК «Луганськтепловоз» в 1991 і в 2007рр. Результати даної роботи мають практичне значення при вдосконаленні технології виготовлення відливаних колісних центрів рухомого складу залізниць. Табл. 3, дж. 10.

25. **Дорошко В.В., Коробецкий Ю.П.** Использование методов объектно-ориентированного проектирования для построения моделей машиностроительного предприятия // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В работе исследуются принципы, методы и инструменты ООП, определены особенности использования ООП для построения иерархических моделей машиностроительных предприятий. Описана схема формирования иерархических уровней предприятия. Табл. 1, ист. 9.

26. **Дрягін Д.П.** Структурна якість неоднорідних односімейних кінематичних ланцюгів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Структурна якість кінематичних ланцюгів, інакше - їхня самоустановлюванність, теоретично оцінюється завдяки коефіцієнту структурної якості. Всі види кінематичних ланцюгів, у тому

числі й неоднорідні односімейні, розглянуті в даній статті, можуть бути оцінені завдяки цьому коефіцієнту. У результаті встановлюється взаємозв'язок між структурною якістю й точністю виготовлення й складання замкнених контурів кінематичних ланцюгів. Рис. 1, дж. 4.

27. **Кожин В.М., Александров Д.В., Александров В.Є., Пугачов Д.Н.** Пожежний захист автотранспортних засобів за допомогою автоматичних систем пожежогашіння // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У результаті проведених досліджень розроблено рекомендації застосування автоматичних систем пожежогашіння для пожежного захисту автотранспортних засобів. Дж. 5.

28. **Ігнат'єв Б.Б., Ігнат'єва В.Б.** Дослідження процесу просочення при остаточному формуванні профільних виробів тиском // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Наводиться методика визначення структурнотехнологічних параметрів, що забезпечують якість просочення та заданий ступінь наповнення при остаточному формуванні складнопрофільного стержньового виробу. Рис. 3, дж. 5.

29. **Нечасв Г.И., Короп Г.В., Короп Ю.В.** Застосування імітаційного моделювання у оперативному плануванні роботи промислового транспорту // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті викладено проблеми з управління промисловим залізничним транспортом, сформульовані цілі та задачі їхнього вирішення, показана роль імітаційного моделювання у вигляді системи підтримки прийняття рішень, як інструменту підвищення ефективності управління промисловим транспортом. Рис. 2, дж. 6.

30. **Чесноков О.В.** До питання автоматизації складання стержньових армуючих каркасів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті запропонована блок-схема і обґрунтована кінематична схема установки автоматизованого укладання шарів горизонтальних стержнів для складання стержньових армуючих каркасів, описаний принцип роботи вузлів установки і визначені функціональні вимоги до них. Рис. 3, дж. 2.

31. **Касьянов Н.А., Михайлов Д.В.** Анализ факторов, определяющих особенности температурных полей для компьютерного моделирования развития пожаров в вентилируемых объемах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Приведен анализ факторов, характеризующих особенности температурных полей при развитии пожаров в полуоткрытых объемах, и которые необходимо учитывать при разработке компьютерных моделей. Ист. 17.

32. **Пронин М.А., Заика В.С.** Условие движения грузов гравитационными конвейерами на воздушной подушке // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Путем динамического анализа установлено условие движения грузов гравитационными конвейерами на воздушной подушке. Рис. 1, ист. 2.

33. **Павлов А.І., Воронцова Д.В., Карпов О.П., Філь П.В.** Зубчаста передача із внутрішнім еволютним зачепленням // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті розглянуто можливість застосування еволютного зачеплення в передачі із внутрішнім контактом. Досліджено варіанти вибору коефіцієнта різновиду й зміна приведеного радіусу кривизни по висоті зуба. Рис. 3, дж. 4.

**34. Молчанов Д.В., Лубенська Л.М., Романченко О.В.** Аналіз методів підготовки деталей під захисні й декоративні покриття // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У даній статті проаналізовано різні методи підготовки деталей під захисні й декоративні покриття. Основна увага приділена проблемі вибору операції підготовки поверхні залежно від вимог, запропонованих до поверхні, і її якості. Дж. 7.

**35. Малов В.А., Касьянов Н.А., Пительгузов Н.А.** Исследование акустического излучения кузова вагона пассажирского подвижного состава // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Исследованы параметры, характеризующие шумовое излучение в вагоне дизель- или электропоезда. Рис. 1, ист. 12.

**36. Ткачук О.А., Поляченко О.Ю.** Можливості застосування віртуального середовища LabView в науково-освітній діяльності // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У роботі розглянуто можливості застосування віртуального середовища LabView при вирішенні навчальних і наукових завдань, проведенні експериментальних досліджень, в тому числі в системі дистанційної освіти. Запропоновано приклад створення віртуального вимірювального приладу. Рис. 10, дж. 6.

**37. Матвійчук В.А.** Способи випробування металів на пластичність // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В роботі запропоновано експериментально-розрахункові способи дослідження пластичності металів, які розширюють можливості визначення пластичності при заданій схемі напруженого стану і дозволяють враховувати ефект підвищення пластичності при утворенні шийки у випадку розтягу. Рис. 5, дж. 5.

**38. Гунченко О.Н., Касьянова К.Н.** Исследование проблемы выбора решений в системе управления охраной труда (СУОТ) машиностроительного предприятия // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Обоснована необходимость применения сетевых методов при разработке мероприятий, обеспечивающих координацию при реализации решений, применяемых в СУОТ, с присущими им такими характеристиками. Рис. 2, ист. 12.

**39. Марущак П.О., Баран Д.Я.** Влияние температуры на статическую и циклическую трещиностойкость стали 25X1M1Ф // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

В статье исследовано влияние эксплуатационных температур ролика машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) на статическую и циклическую трещиностойкость стали 25X1M1Ф. Выявлено что повышение температуры испытаний с +20 до +375 0С практически не влияет на циклическую трещиностойкость материала, с увеличением температуры до +600 0С скорость роста усталостной трещины увеличивается в 2...10 раз. Определены параметры статической вязкости разрушения стали 25X1M1Ф, при нормальных и высоких температурах. На основании проведен-

ных расчетов произведена оценка влияние температуры на геометрические параметры валиков наплавленных на рабочую поверхность ролика МНЛЗ. Рис. 3, табл. 1, ист. 7.

40. **Колесніков В.О.** Розвиток нових комп'ютерних технологій у Німеччині // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Наведено короткий огляд застосування комп'ютерних програм і технологій у Німеччині, що ґрунтується на результатах стажування в університеті Отто-фон-Гуріке (м. Магдебург). Наведено приклади застосування графічних пакетів для розрахунку параметрів ливарних процесів при отриманні відливок. Розглянуто деякі проекти інституту Фраунгофера (IFF). Рис. 6, дж. 16.

41. **Федорченко В. Г., Подлесний С. В.** Визначення енергосилових параметрів розвальцювання тонкостінних вісесиметричних труб // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

Пропонуються залежності в аналітичній формі визначення енергосилових параметрів розвальцювання тонкостінних, вісесиметричних труб. Рис. 1, дж. 4.

42. **Клімова О.М., Касьянов М.А.** Обґрунтування необхідності комплексного підходу при оцінці впливу шкідливих виробничих факторів на працівників машинобудівних підприємств // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2008. – № 6 (124). – С. \_ - \_.

У статті на основі аналізу вторинного впливу шкідливих виробничих факторів на організм людини показано необхідність реконструкції цеху машинобудівного підприємства. Рис. 1, табл. 1, дж. 6

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

- Александров В.Е.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, доц., к.т.н.
- Александров Д.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, м.н.с. кафедры "Транспортные технологии"
- Арлинский О.Ю.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы и сети»
- Басов Г.Г.** - ОАО «ХК «Лугансктепловоз», технический директор, доц., к.т.н.
- Баран Д.Я.** - Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя
- Божко Т.Е.** - Луцкий государственный технический университет, ассистент кафедры КПП ти ТМ
- Бурко В.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Машиноведение", доц., к.т.н.
- Вишневский Д.А.** - Донбасская горно-металлургическая академия
- Волкова С.А.** - ОАО «ХК Лугансктепловоз», инженер-технолог металлургической лаборатории
- Воронцова Д.В.** - Национальный технический университет «ХПИ», аспирант кафедры «Начертательная геометрия и графика»
- Гедрович А.И.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Обработка металлов давлением и сварка» проф., д.т.н.
- Гедрович Д.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант
- Гладушин В.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Прикладное материаловедение", доц., к.т.н.
- Гуляков В.П.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, к.т.н.
- Гунченко О.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Гутыря С.С.** - Одесский национальный политехнический университет, профессор кафедры «Теоретическая механика и машиноведение», проф., д.т.н.
- Гутько Ю.И.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, заведующий кафедрой «Промышленное и художественное литье», проф., д.т.н.
- Дейнека И.Г.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, заведующая кафедрой «Легкой и пищевой промышленности», доц., к.т.н.

- Дорошко В.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры экономической кибернетики
- Друзь О.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, к.т.н.
- Дерягин Д.П.** - Сумской государственный университет, доцент кафедры информационных технологий проектирования
- Жданов С.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры истории государства и права, к.т.н.
- Жданова М.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Прикладное материаловедение", к.х.н.
- Жидков А.Б.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Обработка металлов давлением и сварка", доц., к.т.н.
- Заика В.С.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент
- Игнатъев Б. Б.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», доц., к.т.н.
- Игнатъева В.Б.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Управление проектами и экономическая статистика», к.т.н.
- Калашникова Ю.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, магистрант кафедры «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте»
- Касьянов Н.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, заведующий кафедрой охраны труда и безопасности жизнедеятельности, проф., д.т.н.
- Касьянова К.Н.** - НТУУ КПИ, студентка Института прикладного системного анализа
- Карпов А.П.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Машиноведение», доц., к.т.н.
- Климова О.М.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Кожин В.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, доц., к.т.н.
- Колесников В.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Начертательная геометрия и графика», к.т.н.
- Колибабчук А.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Колодяжная Л.Г.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Прикладное материаловедение», доц., к.т.н.
- Колодяжный П.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент
- Коробецкий Ю.П.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры экономической кибернетики, проф., д.т.н.

- Короп Г.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Транспортные технологии»
- Короп Ю.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студентка
- Лагута В.И.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, инженер кафедры «Промышленное и художественное литье», доц., к.т.н.
- Лубенская Л.М.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Технология машиностроения», доц. к.т.н.
- Малеткин В.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, доц.
- Малов В.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Марущак П.О.** - Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя
- Матвийчук В.А.** - Донбасская государственная машиностроительная академия, докторант, доц., к.т.н.
- Мацевич В.М.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, научный сотрудник кафедры "Обработка металлов давлением и сварка"
- Медяник В.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, к.т.н.
- Михайлов Д.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Можейко А.В.** - ОАО «ХК «Лугансктепловоз», инженер-технолог I категории Центральной заводской лаборатории
- Молчанов Д.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Технология машиностроения»
- Мычко А.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Легкой и пищевой промышленности», проф., д.т.н.
- Нечаев Г.И.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, заведующий кафедрой «Транспортные технологии», проф., д.т.н.
- Носко П.Л.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, заведующий кафедрой «Машиноведение», проф., д.т.н.
- Павлов А.И.** - Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика», доц., к.т.н.
- Паненко Р.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, инженер кафедры "Обработка металлов давлением и сварка"
- Пительгузов Н.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, проф., к.т.н.
- Подлесный С.В.** - Донбасская государственная машиностроительная академия, декан, заведующий кафедрой, доц., к.т.н.
- Поляченко Е.Ю.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ст. преп. кафедры «Компьютерные системы и сети»

- Пронин М.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры "Организация перевозок и управления на промышленном транспорте"
- Пугачов Д.Н.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент
- Романченко А.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Технология машиностроения»
- Рудь В.Д.** - Луцкий государственный технический университет, директор ННВ института инженерных и информационных технологий, проф., д.т.н.
- Рюдигер Бэр** - Магдебургский технический университет имени Отто-фон-Герике, профессор кафедры «ОМД и литейного производства»
- Сало В.И.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности, к.т.н.
- Сидоренко И.И.** - Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры «Теоретическая механика и машиноведение», доц., к.т.н.
- Соломина Е.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студентка
- Стоянов А.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Обработка металлов давлением и сварка", доц., к.т.н.
- Тарарычкин И.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Обработка металлов давлением и сварка», доц., к.т.н.
- Тихонович В.И.** - Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, с.н.с., проф., д.т.н.
- Ткачук О.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Компьютерные системы и сети», к.т.н.
- Федорченко В.Г.** - Донбасская государственная машиностроительная академия, доцент, к.т.н.
- Филь П.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Машиноведение», доц., к.т.н.
- Харламов Ю.А.** - Хайдерабадский научно-технологический университет (г. Хайдерабад, Пакистан), профессор, д.т.н.
- Хинчагов Г.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ст. препод. кафедры «Промышленное и художественное литье»
- Чернецкая Н.Б.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры железнодорожного транспорта, д.т.н.
- Черных А.В.** - Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, ассистент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности
- Чесноков А.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Технология машиностроения», доц., к.т.н.
- Шалевская И.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры «Промышленное и художественное литье», к.т.н.

- Шевченко А.В.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Прикладное материаловедение», доц., к.т.н.
- Шенкман Г.Л.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры "Обработка металлов давлением и сварка"
- Шишкин А.А.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры "Промышленное и художественное литье", доц., к.т.н.
- Шишов В.П.** - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Машиноведение», проф., д.т.н.

**ВІСНИК**  
**Східноукраїнського національного університету**  
**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**  
**№ 6 ( 124 ) 2008 ч. 2**  
**науковий журнал**

Відповідальний за випуск	Р.І. Рей
Відповідальний секретар випуску	Ю.І. Осенін
Технічний секретар випуску	І.І. Матусевич
Літературний редактор	З.І. Андропова
Технічний редактор	Т.М. Дроговоз
Коректор	Я.В. Рудник
Оригінал-макет	Г.Е. Федорова

Підписано до друку 12.04.2008 р.  
Формат 70 x 108 1 /16. Папір офсетний. Гарнітура Arial Суг.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 21,7. Обл. друк. арк. 23,0.  
Наклад 300 прим. Вид. № 2171. Замовлення № \_\_\_\_\_. Ціна вільна.

Видавництво  
Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса видавництва:** 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20 а,  
Телефон (0642) 41-34-12. Факс (0642) 41-31-60.  
E-mail: uni@snu.edu.ua